



João Pedro Diogo Domingues

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN E SEIS SIGMA NUMA INDÚSTRIA DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira Cabrita, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Coorientador: Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Virgílio António Cruz Machado

Vogais: Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso

Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira Cabrita

Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro de 2013

João Pedro Diogo Domingues

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN E SEIS
SIGMA NUMA INDÚSTRIA DE SISTEMAS DE
FIXAÇÃO**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira
Cabrita, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa.

Coorientador: Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo, Professor
Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Virgílio António Cruz Machado

Vogais: Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso

Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira Cabrita

Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo

Setembro de 2013

Aplicação de ferramentas Lean e Seis Sigma numa indústria de sistemas de fixação

Copyright©: João Pedro Diogo Domingues, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero aqui deixar os meus profundos agradecimentos e o meu reconhecimento a quem deixou a sua marca, de alguma forma, no desenvolvimento deste trabalho e na minha pessoa.

À Professora Maria do Rosário Cabrita e ao Professor José Gomes Requeijo, pela orientação da dissertação e por todos os conselhos transmitidos. Agradeço-lhes toda a disponibilidade dispensada e por todos os ensinamentos transmitidos.

Ao Engenheiro António Cruz, pela oportunidade que me proporcionou e pelo acompanhamento que me deu, na empresa onde o estudo de caso foi aplicado.

Aos meus pais, pelo apoio e dedicação que me proporcionaram ao longo de toda a minha vida. Tenho a agradecer-lhes a educação que me foi dada e o investimento que realizaram para que fosse possível a minha caminhada até aqui. Por todos os sacrifícios e por acreditarem em mim, deixo o meu profundo e perpétuo agradecimento.

Aos meus irmãos, pelo exemplo e pela grande amizade que sempre me transmitiram.

À Joana, que mais que o companheirismo, valorizo a grande amizade. Agradeço por me ter transmitido sempre o melhor apoio e atenção, para que eu pudesse sempre encontrar o rumo certo, com mais motivação.

A todos os Docentes do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade Nova de Lisboa, dos quais tive o prazer de receber ensinamentos. Agradeço todas as competências que me foram transmitidas.

A todos os meus amigos e colegas, que de alguma maneira contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal, agradeço todo o apoio e força transmitidos.

Por último, mas não menos importante, em recordação da Professora Zulema Lopes Pereira, cuja memória não partirá tão cedo.

Resumo

O crescente dinamismo dos mercados e a recessão económica mundial implicam, cada vez mais, o abandono dos métodos de gestão tradicionais e a necessidade de adotar estratégias e abordagens de gestão inovadoras, que permitam a subsistência e o crescimento das organizações. Como tal, cada vez mais as empresas procuram metodologias de gestão que lhes permitam aumentar a eficácia e a eficiência dos seus processos, através da melhoria da qualidade dos seus produtos, da redução de custos e do aumento de satisfação dos seus clientes. O paradigma de gestão *Lean*, integrado com a filosofia Seis Sigma, é um meio que permite atingir esse fim.

A integração dos conceitos *Lean* e Seis Sigma originam um paradigma que visa, por um lado, a eliminação do desperdício inerente aos processos praticados, definido como tudo aquilo que é desnecessário, e, por outro lado, a redução da variabilidade dos processos. Para esse efeito, existe uma panóplia de ferramentas e metodologias disponíveis, dependendo do objetivo que se pretende atingir e do problema existente. Uma metodologia de implementação importante e reconhecida consiste no ciclo DMAIC – *Define, Measure, Improve, Analyze, Control* –, que se trata de um método sequencial bem estruturado para a implementação de melhorias num processo.

A presente dissertação incide no estudo da implementação de ferramentas *Lean* e Seis Sigma, sustentada pelo ciclo DMAIC, numa empresa responsável pela produção de parafusos. Numa fase inicial foi definido o projeto, através de requisitos e metas propostas por um cliente, que incidiam na melhoria de certos parâmetros associados a um determinado produto. Nesse sentido, foram aplicadas diversas ferramentas *Lean* Seis Sigma, com o intuito de acrescentar valor aos processos e de eliminar desperdício a que lhes estava inerente, tendo em conta os objetivos delineados inicialmente.

O estudo de caso realizado permite reconhecer a importância e o impacto que a aplicação da integração dos conceitos *Lean* e Seis Sigma tem numa empresa, assim como a excelência associada à utilização da metodologia de implementação DMAIC. Pretende-se, assim, proporcionar um estudo de caso que possa servir como exemplo para a aplicação desta filosofia noutras empresas. Além disso, este projeto constitui valor para a empresa onde foi aplicado, pois permitiu atingir os objetivos delineados, aumentando assim a eficácia e a eficiência dos processos associados ao produto em estudo.

Palavras-chave: *Lean*, Seis Sigma, DMAIC, eficácia e eficiência, produção de parafusos.

Abstract

The growing dynamism of markets and the world economic recession increasingly imply the abandonment of traditional management methods and the need of adopting strategies and innovative management approaches, which allow the subsistence and growth of organizations. Therefore, the companies increasingly seek new management methodologies that allow them to increase the effectiveness and the efficiency of their processes, by improving the quality of their products, reducing costs and increasing their costumers' satisfaction. The paradigm of Lean management, integrated with the philosophy Six Sigma, is a way to achieve that end.

The integration of the concepts Lean and Six Sigma originate a paradigm that aims, on the one hand, the elimination of waste that's inherent to the practiced processes, defined by everything that's unnecessary, and, on the other hand, the reduction of processes' variability. For this purpose, there is a range of tools and methodologies available, depending on the goal to be achieved and on the existing problem. An important and recognized implementation methodology consists in the DMAIC cycle – Define, Measure, Improve, Analyze and Control –, which is a sequential method that's well structured to implement improvements in a process.

The present dissertation focuses on the study of the philosophy Lean Six Sigma implementation, supported by the DMAIC cycle, in a company responsible for bolts manufacturing. Firstly, it was defined the project, through the requirements and goals proposed by a client, which relate to improvements of certain parameters associated with a certain product. Thus, several Lean Six Sigma tools were applied, in order to add value to the processes and to eliminate waste from them, bearing in mind the goals that were initially outlined.

The case study carried out allows the recognition of the importance and the impact that Lean Six Sigma application can conduct in a company, as well as the excellence associated with the use of implementation methodology DMAIC. Thereby, it is intended to provide a case study that can be an example for the application of Lean Six Sigma in other companies. Furthermore, this project constitutes value to the company where it was applied, as it allowed achieving the proposed goals, increasing the effectiveness and the efficiency of the processes associated with the product in study.

Keywords: Lean, Six Sigma, DMAIC, effectiveness and efficiency, bolts manufacturing.

Índice de matérias

CAPÍTULO I – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	5
 CAPÍTULO II – Revisão bibliográfica.....	 7
2.1. Fundamentos e conceitos no âmbito do paradigma <i>Lean</i>	7
2.1.1. Origem e definição do paradigma <i>Lean</i>	8
2.1.2. Pilares conceptuais do <i>Toyota Production System</i>	11
2.1.3. Princípios do paradigma <i>Lean</i>	14
2.1.4. Tipos de desperdício.....	17
2.1.5. Benefícios do paradigma <i>Lean</i>	20
2.1.6. Obstáculos à implementação do paradigma <i>Lean</i>	22
2.1.7. Como implementar o pensamento <i>Lean</i>	23
2.2. Ferramentas e metodologias do paradigma <i>Lean</i>	23
2.2.1. <i>Kaizen</i>	25
2.2.2. <i>Value Stream Mapping</i>	26
2.2.3. <i>5S</i>	31
2.2.4. <i>Single Minute Exchange of Die</i>	34
2.2.5. <i>Spaghetti diagram</i>	38
2.2.6. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	39
2.2.7. <i>Kanban</i>	41
2.2.8. Configuração de <i>layouts</i>	43
2.3. Fundamentos e conceitos no âmbito da filosofia Seis Sigma.....	45
2.3.1. Origem e definição da filosofia Seis Sigma.....	45
2.3.2. Implementação da filosofia Seis Sigma.....	48
2.4. Ferramentas Seis Sigma.....	52
2.4.1. <i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers</i>	53
2.4.2. <i>Voice Of the Customer</i>	53
2.4.3. <i>Critical-To-Quality Tree</i>	53
2.4.4. <i>Project charter</i>	54
2.4.5. <i>Key Performance Indicators</i>	54

2.4.6.	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	55
2.4.7.	Análise de Modos de Falhas e Efeitos.....	56
2.4.8.	Diagrama de <i>Pareto</i>	57
2.4.9.	Matriz de prioridades.....	58
2.4.10.	<i>Brainstorming</i>	58
2.5.	<i>Lean</i> e Seis Sigma.....	59
CAPÍTULO III – Caraterização da empresa.....		61
3.1.	Missão, visão e objetivos.....	62
3.2.	Produtos.....	63
3.3.	Mercados.....	64
3.4.	Tecnologias e capacidade produtiva.....	64
3.5.	Fluxo produtivo.....	64
3.6.	Projetos <i>Lean</i> na empresa.....	66
3.6.1.	5S.....	66
3.6.2.	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	69
CAPÍTULO IV – Estudo de caso.....		71
4.1.	Metodologia do estudo de caso.....	71
4.2.	Ciclo DMAIC.....	72
4.2.1.	Definir.....	73
4.2.2.	Medir.....	74
4.2.3.	Analisar.....	74
4.2.4.	Melhorar.....	75
4.2.5.	Controlar.....	75
4.3.	Aplicação prática do método.....	76
4.3.1.	Definir.....	79
4.3.2.	Medir.....	84
4.3.3.	Analisar.....	89
4.3.4.	Melhorar.....	99
4.3.5.	Controlar.....	112
CAPÍTULO V – Conclusões e recomendações.....		115
6.1.	Conclusões do estudo.....	115
6.2.	Limitações do estudo.....	119

6.3. Contribuições.....	120
6.4. Propostas para trabalhos futuros.....	121
Referências bibliográficas.....	123
Anexos.....	131
Anexo A. Registo histórico dos <i>Key Performance Indicators</i>	131
Anexo B. Matriz de prioridades.....	135
Anexo C. <i>Single Minute Exchange of Die</i>	139
Anexo D. <i>Spaghetti diagram</i>	147
Anexo E. Novo procedimento de mudança de ferramentas.....	155

Índice de figuras

Figura 1.1.	Estrutura da dissertação.....	6
Figura 2.1.	Pilares conceptuais do <i>Toyota Production System</i>	11
Figura 2.2.	Evolução para <i>Jidoka</i>	13
Figura 2.3.	Princípios do paradigma <i>Lean</i>	15
Figura 2.4.	Atividades que acrescentam valor e desperdício.....	16
Figura 2.5.	Problemas encobertos pelo desperdício de <i>stock</i>	17
Figura 2.6.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> representativo dos 7 desperdícios e seus efeitos.....	19
Figura 2.7.	Benefícios da aplicação de <i>Lean</i>	21
Figura 2.8.	Classificação de algumas ferramentas <i>Lean</i>	25
Figura 2.9.	Fluxo da melhoria contínua através do VSM.....	27
Figura 2.10.	Sequência de etapas de aplicação do VSM.....	28
Figura 2.11.	Exemplo de tempo de ciclo e ao <i>lead time</i>	29
Figura 2.12.	Atividades constituintes do 5S.....	33
Figura 2.13.	Principais causas da existência de elevados tempos de <i>setup</i>	36
Figura 2.14.	As fases conceptuais a seguir na aplicação da técnica SMED.....	37
Figura 2.15.	Reduções do tempo de <i>setup</i> conseguidas em algumas empresas.....	38
Figura 2.16.	Exemplo de aplicação da ferramenta <i>Kanban</i>	41
Figura 2.17.	Variação da taxa de defeitos consoante o nível sigma do processo.....	46
Figura 2.18.	Modelo de implementação da filosofia Seis Sigma.....	50
Figura 2.19.	Ganhos obtidos em empresas com a implementação do Seis Sigma.....	50
Figura 2.20.	Metodologias e ciclos mais utilizados na filosofia Seis Sigma.....	51
Figura 2.21.	Ferramentas utilizáveis em cada fase do ciclo DMAIC.....	52
Figura 2.22.	Vantagens da junção <i>Lean</i> Seis Sigma na perspetiva do produtor e do cliente...	60
Figura 3.1.	Organigrama geral da empresa PSF.....	62
Figura 3.2.	Exemplos de produtos fabricados na empresa PSF.....	63
Figura 3.3.	Fluxo produtivo geral da empresa PSF.....	65
Figura 3.4.	Resultado da aplicação da metodologia 5S – organização.....	66
Figura 3.5.	Resultado da aplicação da metodologia 5S – arrumação de ferramentas.....	67
Figura 3.6.	Resultado da aplicação da metodologia 5S – áreas delineadas e organizadas.....	68
Figura 3.7.	Exemplo de aplicação da ferramenta OEE numa estampadora.....	69
Figura 3.8.	Especificação de perdas associadas à produção de um determinado produto.....	70

Figura 4.1.	Fases componentes do ciclo DMAIC.....	72
Figura 4.2.	Ferramentas <i>Lean</i> Seis Sigma utilizadas no estudo de caso em cada fase do ciclo DMAIC.....	79
Figura 4.3.	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>	80
Figura 4.4.	<i>Voice Of the Customer</i>	81
Figura 4.5.	<i>Critical-To-Quality Tree</i>	81
Figura 4.6.	<i>Project Charter</i>	83
Figura 4.7.	<i>Layout</i> da fábrica com o respetivo fluxo produtivo do produto MCS.....	84
Figura 4.8.	VSM do produto MCS.....	85
Figura 4.9.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> para as perdas com a mudança de ferramentas na estampagem.....	90
Figura 4.10.	Análise de Modos de Falhas e Efeitos do abastecimento de bobines na estampagem.....	92
Figura 4.11.	<i>Layout</i> inicial da secção de escolha e embalagem.....	93
Figura 4.12.	Diagrama de <i>Pareto</i> para a sucata.....	95
Figura 4.13.	Quantidade relativa de cada tipo de defeito detetado.....	97
Figura 4.14.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> para as perdas associadas com fissuras no produto final	98
Figura 4.15.	Causas de inconformidades no torque e na rosca.....	98
Figura 4.16.	Causas identificadas para realização de ações de melhoria.....	99
Figura 4.17.	Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (1).....	101
Figura 4.18.	Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (2)	101
Figura 4.19.	Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (3)	102
Figura 4.20.	Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (4)	102
Figura 4.21.	Impactos da implementação da ferramenta SMED.....	103
Figura 4.22.	Quadro <i>Kanban</i> de matéria-prima existente junto à máquina de estampagem....	105
Figura 4.23.	Cartão <i>Kanban</i> utilizado na empresa PSF.....	105
Figura 4.24.	Número de bobines consumidas na máquina de estampagem para o produto MCS.....	107
Figura 4.25.	Impactos da implementação do sistema <i>Kanban</i> de matéria-prima.....	108
Figura 4.26.	<i>Layout</i> implementado na secção de escolha e embalagem.....	109
Figura 4.27.	Impactos da implementação de uma célula de produção.....	110
Figura 4.28.	Impactos da implementação de melhorias na qualidade.....	112
Figura 4.29.	Diagrama representativo das tarefas de controlo a desempenhar.....	114
Figura 5.1.	Resumo dos ganhos obtidos através das ferramentas utilizadas na fase <i>Improve</i>	117

Figura A.1.	Histórico do tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem.....	132
Figura A.2.	Histórico do nível de <i>stock</i> após a decapagem e associado ao produto MCS.....	133
Figura A.3.	Histórico do nível de sucata na escolha e associado ao produto MCS.....	134
Figura A.4.	Histórico do nível de OEE na estampagem e associado ao produto MCS.....	135
Figura A.5.	Histórico do nível de OEE na escolha e associado ao produto MCS.....	135
Figura D.1.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (1)	147
Figura D.2.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (2)	148
Figura D.3.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (3)	149
Figura D.4.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (4)	150
Figura D.5.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (5)	151
Figura D.6.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem (6)	152
Figura D.7.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem após melhorias (1)	153
Figura D.8.	<i>Spaghetti Diagram</i> da mudança de ferramentas na estampagem após melhorias (2)	154

Índice de tabelas

Tabela 1.1.	Planeamento das tarefas a desempenhar ao longo da dissertação.....	4
Tabela 2.1.	Comparação de produção <i>Lean</i> e produção em massa.....	9
Tabela 2.2.	Definição de produção <i>Lean</i>	10
Tabela 2.3.	Obstáculos à implementação do paradigma <i>Lean</i>	22
Tabela 2.4.	Fatores que determinam a eficácia de um <i>layout</i>	44
Tabela 2.5.	Diferentes definições da filosofia Seis Sigma.....	47
Tabela 2.6.	Critérios de definição dos valores de cada índice da AMFE.....	57
Tabela 2.7.	Comparação entre métodos tradicionais e métodos baseados em <i>Lean</i> Seis Sigma.....	60
Tabela 4.1.	Integração das ferramentas <i>Lean</i> Seis Sigma no ciclo DMAIC.....	77
Tabela 4.2.	Métricas relevantes no âmbito do projeto a desenvolver.....	89
Tabela 4.3.	Detalhe de perdas relacionadas com paragens de produção da máquina de estampagem (em horas).....	91
Tabela 4.4.	Produção total e não conforme por trimestre no ano de 2012.....	94
Tabela 4.5.	Tabela geral de resultados com a implementação da ferramenta SMED.....	103
Tabela 4.6.	Ações de melhoria propostas para a diminuição do nível de sucata.....	111
Tabela 4.7.	Calendarização das atividades de controlo a desempenhar no futuro.....	113
Tabela 5.1.	Comparação entre as metas estabelecidas e os resultados obtidos no projeto.....	119
Tabela A.1.	Histórico do tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem.....	131
Tabela A.2.	Histórico do nível de <i>stock</i> associado ao produto MCS.....	132
Tabela A.3.	Histórico do nível de sucata no processo de escolha associado ao produto MCS	133
Tabela A.4.	Histórico do nível de OEE na estampagem e na escolha associado ao produto MCS.....	134
Tabela B.1.	Ponderação a utilizar para as alternativas e critérios.....	136
Tabela B.2.	Matriz de prioridades dos critérios.....	137
Tabela B.3.	Matriz de prioridades para facilidade de implementação de melhorais.....	137
Tabela B.4.	Matriz de prioridades para minimização do custo financeiro de implementação de melhorias.....	138

Tabela B.5.	Matriz de prioridades para minimização do tempo de implementação de melhorias.....	138
Tabela B.6.	Matriz de prioridades para frequência de ocorrência do problema.....	138
Tabela B.7.	Coefficientes de ponderação das alternativas por critério.....	139
Tabela B.8.	Matriz de prioridades de comparação entre alternativas e critérios.....	139
Tabela C.1.	Ganhos obtidos com a implementação de melhorias na mudança de ferramentas.....	140
Tabela C.2.	Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (1).....	141
Tabela C.3.	Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (2).....	142
Tabela C.4.	Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (3).....	143
Tabela C.5.	Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (4).....	144
Tabela C.6.	Fase 2 e fase 3 da aplicação da ferramenta SMED (1).....	145
Tabela C.7.	Fase 2 e fase 3 da aplicação da ferramenta SMED (2).....	146
Tabela D.1.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (1).....	147
Tabela D.2.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (2).....	148
Tabela D.3.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (3).....	149
Tabela D.4.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (4).....	150
Tabela D.5.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (5).....	151
Tabela D.6.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (6).....	152
Tabela D.7.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas após melhorias (1)	153
Tabela D.8.	Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas após melhorias (2)	154

Lista de abreviaturas

AMFE – Análise de Modos de Falhas e Efeitos;

CO – *Changeover*;

CTQ – *Critical-To-Quality*;

DMADV – *Define, Measure, Analyze, Design, Verify*;

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*;

DPMO – Defeitos Por um Milhão de Oportunidades;

DPO – Defeitos Por Oportunidade;

DPU – Defeitos por Unidade;

JIT – *Just-In-Time*;

KPI – *Key Performance Indicator*;

MP – Matéria-Prima;

MRP – *Materials Requirement Planning*;

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*;

OF – Ordem de Fabrico;

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*;

SMED – *Single Minute Exchange of Dies*;

TPM – *Total Productive Maintenance*;

TPS – *Toyota Production System*;

TS – Tratamento de Superfície;

TT – Tratamento Térmico;

VOC – *Voice of the Customer*;

VSM – *Value Stream Mapping*;

WIP – *Work In Progress*.

CAPÍTULO I - Introdução

Com o presente capítulo, pretende-se fazer uma introdução ao trabalho desenvolvido. Em primeira instância, identifica-se o enquadramento do tema e os objetivos a atingir. Seguidamente, é justificada a escolha do tema e apresentada a metodologia a seguir, para atingir os objetivos delineados. Por fim, para uma melhor visão global da estrutura da dissertação, é apresentado um esquema representativo da mesma.

1.1. Enquadramento

Atualmente, a competitividade que existe no mundo empresarial é cada vez maior, sendo que a tendência para o futuro é que esta rivalidade assuma contornos cada vez mais dinâmicos. Neste mercado competitivo, é esperado que as organizações experienciem grandes mudanças no ambiente de negócios em que estão envolvidas. Esta capacidade de uma organização cumprir a sua missão, com mais êxito que outras organizações que atuam no mesmo mercado, é um dos principais focos que a gestão de topo deve ter, para que o sucesso seja alcançado. O ciclo de vida dos produtos é cada vez menor, as forças competitivas forçam a grandes mudanças em termos de conceção de produtos e as necessidades dos clientes obrigam a uma grande diferenciação de marcas e produtos. Aliada à competitividade, a conjuntura económica atual é outro fator que implica a necessidade de melhorar a eficácia e a eficiência dos processos praticados pelas organizações. Deste modo, a crise económica pode ser enfrentada como uma oportunidade de melhoria e de crescimento das organizações, se forem tomadas decisões que levem à melhoria dos métodos e processos praticados pelas mesmas.

As estratégias empresariais tradicionais já não fazem sentido e revelam-se insuficientes para garantir a sobrevivência das organizações nos mercados, pelo que a inovação e a aplicação de novas metodologias de produção devem ser procuradas. Como tal, a melhoria de todos os parâmetros de uma organização, ao longo de toda a cadeia de abastecimento onde está inserida, deve ser constantemente procurada. A otimização destes parâmetros, apesar de utópica, deve ser sempre procurada, em qualquer processo, de forma a haver uma melhoria contínua.

A produtividade, traduzida matematicamente pelo quociente entre o *output* e o *input*, tem vindo a ser calculada através da identificação, tão completa quanto possível, das variáveis que afetam o numerador (que se quer maximizar) e o denominador (que se pretende minimizar) (Machado, 2007).

A implementação do paradigma de gestão *Lean* na produção é um meio que permite às organizações atingir os objetivos pretendidos, para uma melhor competitividade no mercado. Este paradigma, juntamente com as várias metodologias que lhe estão associadas, permite a uma organização focar-se na racionalização e na redução/eliminação de todas as atividades que não agregam valor aos produtos. Consequentemente, com a redução do desperdício, pode-se verificar um aumento da flexibilidade de produção, assim como da qualidade dos produtos. Por outro lado, a filosofia Seis Sigma é um meio que permite a redução significativa da variabilidade existente nos processos praticados por uma empresa. Desta maneira, a implementação de *Lean* e Seis Sigma na produção possibilita a uma empresa atender, de maneira competitiva, as necessidades de cada cliente, reduzindo principalmente os custos de produção.

Os resultados alcançados pela maioria das organizações, que adotaram este paradigma de gestão, têm sido consideráveis, permitindo obter melhorias significativas através da redução de esforço humano, de espaço e de tempo de produção (Womack & Jones, 2003).

Citando Suzaki (2010), “muitas pessoas estavam preocupadas com o intensificar da competitividade e à procura de formas de recuperar a vantagem competitiva das suas empresas. Existem muitos casos de sucesso a acontecerem em várias empresas. Está a crescer o entusiasmo no chão de fábrica. A questão está em como acelerar o ritmo das mudanças necessárias.”

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo a descrição e análise da implementação da gestão da produção *Lean* e Seis Sigma numa organização portuguesa, responsável pela fabricação de sistemas de fixação. Para isso, foram primeiramente identificadas oportunidades de melhoria no sistema de produção da organização, para que fosse possível a identificação de ações de melhoria a desenvolver.

Mais concretamente, foi requerido à empresa a melhoria de alguns parâmetros associados à produção de um determinado produto. Como tal, o problema a tratar será como responder aos requisitos de melhoria de processos, definidos pelo cliente, referentes à fabricação desse mesmo produto.

Através de uma detalhada revisão bibliográfica, será possível a compreensão do paradigma de gestão *Lean* e da filosofia Seis Sigma, através do estudo de conceitos e da referência de estudos recentes efetuados. Assim, será permitido um melhor entendimento dos seus principais objetivos, como atingi-los e como implementá-los na produção. Depois de um extensivo e objetivo estudo incidente nos conceitos referidos e na sua aplicação na produção, será realizado um estudo de caso prático real, para aplicação dos conhecimentos estudados, na empresa já referida. Com a aplicação prática deste estudo de caso, estabelecem-se três objetivos principais:

- 1) Identificação e caracterização do sistema produtivo da empresa, especificando a sequência de processos de um determinado produto;
- 2) Identificação de oportunidades de melhoria nos processos definidos no ponto anterior;
- 3) Definição de propostas de melhoria que conduzam a um aumento da eficiência e eficácia dos processos identificados, através da aplicação de ferramentas inerentes ao paradigma *Lean* e à filosofia Seis Sigma.

A escolha do tema abordado na dissertação fundamentou-se no interesse do autor no paradigma de gestão *Lean* e na filosofia Seis Sigma, assim como no interesse na aproximação ativa ao mundo empresarial. Desta maneira, foi possível aplicar conhecimentos técnicos, adquiridos em contexto universitário, numa situação real.

1.3. Metodologia

Para a redação desta dissertação, foi utilizada a seguinte metodologia, apresentada de modo sequencial:

- 1) Numa primeira fase, tendo em conta os interesses do autor, foi escolhido o tema da dissertação, embora sem especificidade. Foi decidido que a dissertação iria incidir sobre o paradigma *Lean* e a filosofia Seis Sigma, aplicados na produção. Simultaneamente, surgiu a oportunidade de realizar um estudo prático numa fábrica de sistemas de fixação. Com isto, foi imediatamente iniciado um estudo incidente sobre os conceitos referidos, sendo assim possível a realização da revisão bibliográfica;

2) Numa segunda fase, foi visitada a fábrica referida, a qual foi estudada e analisada intensivamente por alguns dias, de modo a que fossem detetados problemas relacionados com a produção, para que fossem identificadas oportunidades de melhoria. Os projetos desenvolvidos e em estado de desenvolvimento na empresa foram também estudados, com o intuito de analisar a possibilidade de execução de projetos complementares úteis;

3) Por fim, depois de estar completamente definido o objetivo do projeto a desenvolver na empresa, foram recolhidos todos os dados necessários, para posterior análise, tratamento e aplicação de ações de melhoria. Com isto, foram calculados certos indicadores de desempenho, antes e depois da implementação das ações de melhoria, para posterior comparação. Assim, foi possível a execução do projeto, o qual é descrito nesta dissertação.

Deste modo, a metodologia a utilizar é a de estudo de caso, baseada na obra de Robert Yin (2009). Dos três tipos de estudo de caso existentes referidos por Yin (2009) – descritivo, exploratório e explicativo - o presente trabalho irá incidir no tipo descritivo e no tipo exploratório. Numa primeira instância, serão descritos e analisados os projetos *Lean* que estão a ser desenvolvidos e implementados na empresa, assim como os impactos que estão a ser verificados. Após esse estudo, será explorado um projeto proposto à empresa, com o intuito de melhorar os processos associados à fabricação de um produto específico.

Foram definidas e impostas, pelo próprio autor desta dissertação, as tarefas e metas a atingir ao longo deste projeto, representadas na tabela 1.1.

Tabela 1.1: Planeamento das tarefas a desempenhar ao longo da dissertação.

	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.
Revisão bibliográfica						
Estudo do sistema produtivo da fábrica e dos projetos <i>Lean</i> em curso e já completos						
Identificação de oportunidades de melhoria						
Estudo sobre as ações de melhoria a implementar						
Implementação das ações de melhoria e respetiva análise dos resultados obtidos						
Conclusões e considerações finais						
Redação de artigo científico						

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, incluindo o capítulo atual, referente à introdução.

No segundo capítulo, é efetuada a revisão bibliográfica. Este enquadramento teórico serviu de apoio ao desenvolvimento do estudo de caso. Neste capítulo, serão explorados conceitos inerentes ao *Lean* e ao Seis Sigma, assim como as principais metodologias e ferramentas que lhes estão associadas, aplicáveis na produção. Foram também referidos os estudos mais recentes, relevantes para o tema adotado.

No terceiro capítulo, é abordada a metodologia aplicada no estudo de caso desenvolvido. É feita uma revisão bibliográfica incidente na metodologia utilizada e é analisado o modo como esta será aplicada no estudo de caso.

No quarto capítulo, é feita a caracterização da organização que se disponibilizou para o desenvolvimento deste projeto e é estudado o sistema de produção da mesma. São apresentados, de modo fundamentado, os projetos *Lean* que foram e estão a ser desenvolvidos na empresa, assim como os resultados obtidos derivados da implementação desses mesmos projetos.

O quinto capítulo, baseado na revisão bibliográfica efetuada, incidirá sobre o estudo de caso propriamente dito. Aqui, será definido o projeto a desenvolver, serão analisadas e exploradas oportunidades de melhoria, tendo em consideração as necessidades e os interesses da empresa, complementando, ao mesmo tempo, os projetos já em desenvolvimento pela empresa. Este capítulo será baseado numa metodologia sequencial que se inicia com a definição do problema e finaliza com as propostas e implementação de melhorias.

Por fim, no sexto capítulo, é avaliado o cumprimento dos objetivos estipulados para este projeto, assim como as limitações do estudo. Para além disso, são recomendados possíveis caminhos a enveredar para realização de trabalhos futuros no âmbito do tema abordado no presente trabalho.

Toda a estrutura da dissertação está esquematizada na figura 1.1.



Figura 1.1: Estrutura da dissertação.

CAPÍTULO II – Revisão bibliográfica

O presente capítulo constitui uma base de conhecimentos, recorrendo à revisão da literatura existente, relativamente ao paradigma *Lean* e à filosofia Seis Sigma, incidindo nos princípios e nas ferramentas existentes que se podem aplicar nos sistemas de produção. A informação pesquisada estará distribuída por três secções. Na primeira, será explorada toda a informação existente relativa ao paradigma *Lean*, desde a sua história até à sua aplicação na produção, abordando-se as metodologias e ferramentas conhecidas e utilizadas para aplicação deste paradigma numa organização. Segue-se uma exploração relativa à filosofia Seis Sigma, assim como às ferramentas e metodologias que lhe estão inerentes. Por fim, é feita uma pesquisa incidente na complementaridade entre o paradigma *Lean* e a filosofia Seis Sigma, gerando o conceito de *Lean Seis Sigma*.

A revisão bibliográfica envolveu a consulta de artigos em revistas da especialidade, dissertações de mestrado, livros e *Internet*. Para artigos e dissertações de mestrado, para uma conveniente utilização de informações e estudos recentes, foi definido um horizonte temporal de 10 anos, com exceções de alguns artigos cujos estudos e autores continuam a ser uma referência.

2.1. Fundamentos e conceitos no âmbito do paradigma *Lean*

Os fundamentos e conceitos relativos ao paradigma *Lean* são apresentados, de forma estruturada, em vários subcapítulos. Primeiramente, é estudada a origem e a definição do paradigma, para uma apropriada contextualização do tema. Nesse seguimento, são apresentados os conceitos que constituem os pilares deste paradigma de gestão, assim como os seus princípios. Por fim, através da referência a

vários estudos de caso, são apresentados os benefícios e os obstáculos passíveis de se obter com a implementação do paradigma *Lean*, assim como modos de implementação do mesmo.

2.1.1. Origem e definição do paradigma *Lean*

O paradigma *Lean* teve a sua origem na empresa *Toyota*, nos finais da Segunda Guerra Mundial, na altura designada por *Toyota Production System* (TPS) (Monden, 2012). Este sistema de produção baseava-se na intenção de produzir num fluxo contínuo e no reconhecimento de que apenas uma pequena fração do tempo total e esforço, dedicados ao processamento de um produto, acrescentavam valor ao mesmo (Womack *et al.*, 2007). O paradigma *Lean* surgiu em total contraste com os sistemas de produção praticados na altura, onde as empresas ocidentais produziam em massa, concentrando-se apenas em grandes volumes de produção, com o mínimo de flexibilidade dos respetivos sistemas (Womack & Jones, 2003).

Segundo Womack *et al.* (2007), Eiji Toyoda, fundador da *Toyota Motor Company*, e o seu diretor de produção, Taiichi Ohno, concluíram que a produção em massa nunca funcionaria no Japão. Daí, tendo em consideração algumas restrições governamentais que surgiram e os objetivos que tinham para a empresa, criaram o TPS. Essas restrições consistiam na grande variedade de produtos requeridos pelo mercado; na manifestação dos trabalhadores por melhores condições de trabalho e pela atribuição de maior importância aos mesmos dentro das organizações; na impossibilidade de importação em massa de tecnologias produzidas no Ocidente; na elevada competitividade existente no mercado automóvel. Assim, segundo Ohno (1996), a *Toyota Motor Company* desenvolveu o TPS, que apresenta como principais objetivos a eliminação do desperdício e o foco na satisfação do cliente.

De acordo com o TPS, a melhoria da qualidade seria obtida, essencialmente, através da redução de falhas e de retrabalho nos processos de produção. Este sistema de produção tinha também como objetivo a redução de custos, principalmente dos custos de investimento, de mão de obra, de qualidade, de serviços, de manutenção dos equipamentos, de matéria-prima e de horas extra. Também se definiram como objetivos a redução dos tempos de entrega e de processo de produção, a redução da quantidade de matérias-primas, produtos em vias de fabrico e produtos acabados e, também, o aumento da disponibilidade dos equipamentos (Womack *et al.*, 2007).

Segundo Sugimori *et al.* (1977), o TPS, quando surgiu, tinha como base dois princípios básicos: produção *Just-In-Time* e o desenvolvimento das competências dos trabalhadores. O objetivo deste sistema de produção consistia em aumentar a produtividade na produção e reduzir os custos através da eliminação de todos os tipos de desperdícios (desperdícios esses que são também conhecidos por *mudas* – termo em japonês).

Longe vai o tempo em que o investimento em máquinas ou em alta tecnologia significava vantagem competitiva. As máquinas não substituem os operadores quando toca a ter capacidade de pensar, de criar, de desenvolver, de arranjar uma solução ou de ter a flexibilidade suficiente para fazer qualquer tarefa (Takeuchi *et al.*, 2008).

O termo *Lean Production* (Produção Magra) foi utilizado pela primeira vez pelo investigador John Krafcik, do *Massachusetts Institute of Technology*, numa publicação para designar o TPS por este usar menos de tudo na produção comparado com o sistema de produção em massa, i.e. menos esforço humano, menos espaço fabril, menos investimento em ferramentas, menos horas de desenvolvimento de um novo modelo, menos defeitos e menos *stocks* (Womack *et al.*, 2007). Uma comparação sumarizada entre a produção em massa e a produção *Lean* está representada na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Comparação de produção *Lean* e produção em massa (adaptado de Melton, 2005).

	Produção em massa	Produção <i>Lean</i>
Base	Henry Ford	Toyota
Trabalhadores – <i>design</i>	Pessoal especificamente qualificado	Equipas de trabalhadores polivalentes, com competências em todos os níveis da organização
Trabalhadores – produção	Pessoal não qualificado ou pouco qualificado	Equipas de trabalhadores polivalentes, com competências em todos os níveis da organização
Equipamento	Máquinas dispendiosas e com um único propósito	Sistemas manuais e automatizados, capazes de produzir grandes volumes e em grande variedade de produtos
Métodos de produção	Elevados volumes de produção de produtos <i>standard</i>	Produzir somente sob as encomendas do cliente
Filosofia organizacional	Hierárquica – responsabilidade atribuída unicamente à administração	Fluxo de valor, utilizando níveis adequados de capacitação – atribuição de responsabilidades a todos os níveis da organização
Objetivo	“O bom é suficiente”	“À procura da perfeição”

O sistema de produção em massa permitia manter uma longa produção de produtos *standards*, os quais asseguravam que o cliente obtinha um custo de aquisição reduzido. Isto fazia com que a variedade de produtos fabricados fosse reduzida, o que implicava um modo de operação tedioso por parte da força de trabalho (Melton, 2005). Por outro lado, é possível encontrar algumas definições, referenciadas na tabela 2.2, que, conjuntamente, caracterizam o sistema de produção *Lean*.

Tabela 2.2: Definição de Produção *Lean*.

Definição	Referência
Pretende reduzir continuamente o tempo entre o pedido do cliente e a entrega, eliminando tudo o que acrescenta custo e tempo.	<i>Bhasin & Burcher (2006)</i>
Sistema que requer metade do esforço humano, metade do espaço fabril, metade do investimento e metade do tempo necessário para o desenvolvimento de um novo produto.	<i>Womack et al. (2007)</i>
Preocupa-se com a otimização dos processos, procurando reduzir ou eliminar as atividades que não acrescentam valor.	<i>Machado (2007)</i>
Sistema social e técnico que tem como principal objetivo a eliminação do desperdício, reduzindo ou minimizando fornecedores, clientes e a variabilidade interna.	<i>Shah & Ward (2007)</i>
Sistema que minimiza os custos associados a elevados <i>lead times</i> , excessos de <i>stock</i> ou de capacidade.	<i>Hopp & Spearman (2011)</i>

A Produção *Lean* evoluiu para um paradigma de pensamento, o Pensamento *Lean*, cujo objetivo se centra na procura contínua da eliminação de todos os desperdícios, ambicionando a melhoria contínua de uma organização (Womack & Jones, 2003). Assim, atualmente, o conceito *Lean* é aplicável em todos os elos de uma cadeia de abastecimento e, também, noutras áreas, como nos serviços. Todo o sistema produtivo, quer se trate de produzir um produto ou fornecer um serviço, é suscetível de produzir desperdício e não afetar valor ao cliente. No caso da comercialização de produtos, os aspetos relacionados com a entrega em boas condições – rapidez, qualidade, local, atendimento – deu origem ao conceito de Serviço *Lean* (Swank, 2003; Cullen *et al.*, 2005). Surgiu, deste modo, o conceito *Kaizen* (termo japonês que significa melhoria contínua), que foi evoluindo ao longo dos anos e está atualmente bastante estruturado como um processo de melhoria contínua baseado na inovação, envolvendo toda a organização (Caffyn, 1999).

Segundo Machado (2007), a globalização da economia acelerou as trocas comerciais entre as empresas, o que criou a necessidade de melhorar os seus sistemas de produção para fazer face às questões de competitividade internacional. Para dar resposta ao supramencionado, surgiram recentemente outros paradigmas, aplicáveis na produção. A necessidade de garantir a sustentabilidade do desenvolvimento económico da sociedade conduziu ao surgimento do conceito de Produção Verde, centrando-se na preservação ambiental e no controlo da poluição. Outro paradigma consiste na Produção Ágil, o qual surgiu da necessidade de reação rápida de uma empresa perante as mudanças no mercado. Por fim, a Produção Resiliente é um paradigma que assenta na capacidade de reação rápida a perturbações geradas por fatores exógenos às condições normais de mercado. Como foi referido, um grande número de estudos recentes centra-se nas perspetivas de desenvolvimento e de integração

destes paradigmas de gestão, juntamente com o *Lean*, os quais podem ser aplicados na produção e noutros elos de uma cadeia de abastecimento.

2.1.2. Pilares conceptuais do *Toyota Production System*

Segundo Liker (2004), a ideia que está subjacente ao TPS passa pela manutenção de um fluxo contínuo de produtos em linha, que facilmente se possa adaptar a alterações na procura. Deste modo, este sistema de produção assenta fundamentalmente em 2 pilares, representados pelo *Just-in-Time* (JIT) e pelo *Jidoka*, como pode ser observado na figura 2.1, tendo ainda como base as pessoas, a estabilidade e propósito dos processos, estando sustentada por esta estrutura uma melhor qualidade, um custo reduzido e um menor tempo de entrega.

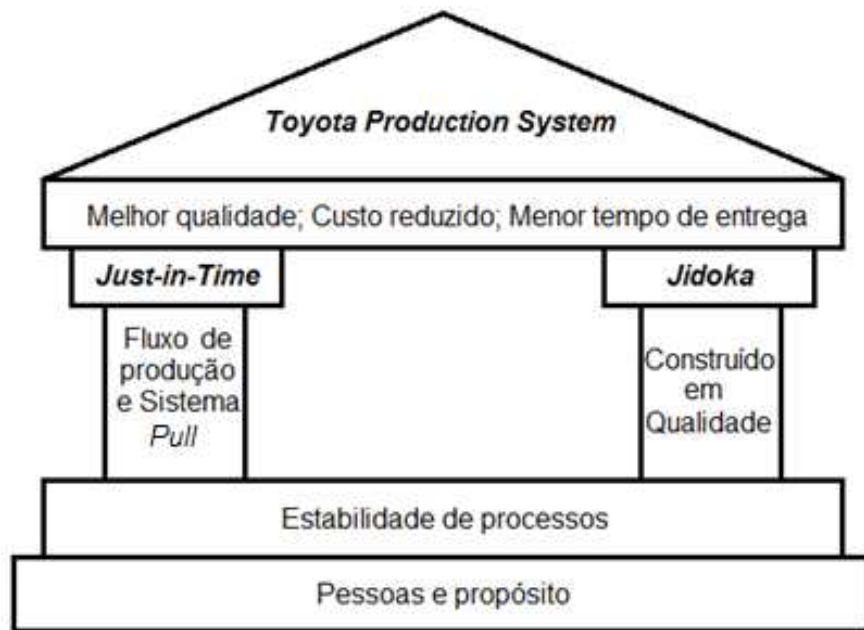


Figura 2.1: Pilares do *Toyota Production System* (adaptado de Liker, 2004).

A. *Just-In-Time*

Como é visível na figura 2.1, o JIT é um dos pilares fundamentais para a implementação do TPS (Liker, 2004). Hirano (2008) refere que o sistema de gestão JIT, criado pela cultura japonesa em meados da década de 1950, é composto por práticas que podem ser aplicadas em qualquer parte do mundo e em qualquer organização, tendo por objetivo a melhoria contínua de um processo produtivo.

Para satisfazer os conceitos inerentes ao JIT, é necessário implementar um sistema produtivo que permita um fluxo contínuo de produção. Desta necessidade surge o sistema *pull*, o qual assenta na ideia de que seja o cliente a “puxar” a produção, i.e. o produto só é produzido a partir do momento em que o cliente o solicita. Deste modo, controla-se o volume de produção, permitindo assim que se produza as quantidades necessárias, no momento certo (Womack & Jones, 2003).

Para se entender melhor como e porque apareceu o sistema *pull*, é conveniente conhecer a base do sistema de produção que o precedeu – o MRP (*Material Requirements Planning*). A utilização do MRP implica um planeamento da produção baseado em fontes estatísticas, sendo a produção “empurrada” para o cliente (sistema *push*). Por outro lado, o sistema *pull* deixa que seja o cliente a “puxar” a produção, o que permite produzir o que o cliente quer no momento em que o pretende (Hopp & Spearman, 2004).

De acordo com Liker (2004), a prática de JIT diferencia-se da abordagem tradicional de gestão da produção, tendo-se as seguintes metas:

- Zero defeitos;
- Tempo nulo em *setups*;
- Zero *stocks*;
- Zero movimentos;
- Lote unitário (uma peça).

A implementação deste sistema de gestão possibilita a produção e entrega de produtos em pequenas quantidades, em reduzidos prazos de entrega, de forma a responder às necessidades do cliente. Para além disso, a sua aplicação resulta na diminuição de inventários, de *Work in Progress* (WIP), de esperas, de transportes e de defeitos, reduzindo ao mesmo tempo os custos de produção e melhorando a qualidade dos produtos (Hay, 1988; Womack & Jones, 2003).

Apesar da redução de custos ser o objetivo principal deste sistema de gestão, este deve, também, permitir atingir outros três objetivos que ajudam a alcançar o seu objetivo central (Altekar, 2005):

1. Controlo de quantidade – permite ao sistema uma adaptação às flutuações da procura, relativamente a quantidade e variedade;
2. Garantia de qualidade – assegura que cada processo irá fornecer aos processos seguintes apenas unidades conformes;

3. Respeito pelo trabalhador – deve ser cultivado o respeito pelos trabalhadores, sempre que o sistema utilize recursos humanos com o objetivo de reduzir custos.

No entanto, a conversão de um sistema de produção para a lógica *pull* pode não ser uma tarefa fácil, dado que a empresa necessita de realizar profundas mudanças na programação da produção, que deverão ocorrer simultaneamente em todos os processos (Monden, 2012).

B. Jidoka

Para além do sistema de gestão JIT, o *Jidoka*, termo japonês que significa automação, constitui outro pilar base de todo o TPS (Liker, 2004). Segundo Silveira e Coutinho (2008), este conceito consiste na automação das máquinas, de forma a permitir um maior rendimento e controlo dos processos. Para além disso, o *Jidoka* permite que um operador seja autónomo para parar a produção quando é detetada uma anomalia, permitindo um maior controlo da qualidade, uma vez que o problema pode ser resolvido no instante em que é detetado. Isto permite evitar o retrabalho no final do processo, aumentando assim os índices de qualidade e a credibilidade do trabalho junto do cliente.

Normalmente, as máquinas não têm capacidade para detetar problemas durante o seu funcionamento ou determinar quando devem parar. Daí resulta a necessidade de ter operários a vigiar o seu funcionamento. Isto não acrescenta qualquer valor ao produto, mas sim custo. Se for possível eliminar este desperdício de tempo, separando operários e máquinas, dar-se-á mais capacidade de trabalho aos operários (Suzaki, 2010). A evolução deste conceito é representada na figura 2.2.

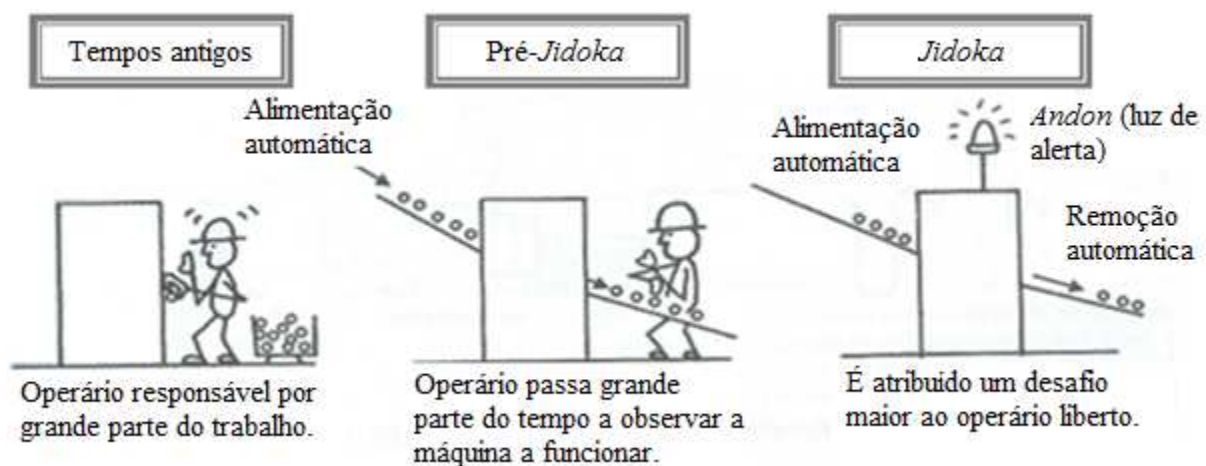


Figura 2.2: Evolução para *Jidoka* (fonte: Suzaki, 2010, p. 121).

O *Jidoka* permite libertar o operador da constante vigilância de uma única máquina, podendo o mesmo supervisionar um conjunto de equipamentos ou desempenhar outro tipo de tarefas (Liker, 2004). Ohno (1996) refere que o *Jidoka* permite atribuir ao operador e à máquina a autonomia de paralisar um processamento sempre que for detetada qualquer anomalia.

Como já foi referido, o conceito de *Jidoka* não se aplica só às máquinas, podendo ser aplicado nas linhas de produção manual. Neste contexto, qualquer operador pode interromper a produção caso seja detetada alguma irregularidade, o que implica o evitamento da geração e propagação de defeitos ao longo da linha. Ao parar a linha de produção, o problema identificado pode ser prontamente resolvido, apurando as suas causas e adotando medidas para prevenir a sua reincidência. Deste modo, reduz-se o tempo em que o sistema se encontra imobilizado devido à reincidência de irregularidades no processo (Ghinato, 2006).

Hinckley (2007) refere que a melhor definição de *Jidoka* é “automação com toque humano”, sugerindo os seguintes atributos fundamentais:

- Distinção entre o trabalho do operador e da máquina;
- Independência entre a máquina e o operador;
- O *setup*, carregamento e descarregamento do equipamento devem ser à prova de falha.

Resumidamente, o *Jidoka* está relacionado com a capacidade das máquinas detetarem algum tipo de problema e serem capazes de parar o processo, evitando a propagação de defeitos ao longo do fluxo produtivo e impedindo a ocorrência de anomalias no processamento (Liker & Meier, 2006). Sem este conceito, uma máquina pode trabalhar *para* o operador, mas não *pelo* operador (Suzaki, 2010).

2.1.3. Princípios do paradigma *Lean*

A Produção *Lean* é um paradigma de gestão que adota fundamentalmente os seguintes 5 princípios, representados na figura 2.3 (Womack & Jones, 2003):

1) **Valor** – Especificação, de forma precisa, do valor de um determinado produto, que o cliente realmente deseja. Isto é, devem-se identificar as características e funcionalidades dos produtos que satisfazem as necessidades e expectativas dos seus clientes – requisitos de qualidade, quantidade, tempo e serviço. Segundo Ohno (1996), este princípio contraria o tradicional, onde os valores dos produtos fabricados eram impostos ao mercado como resultado de um dado custo de fabrico, ao qual

era adicionada a margem de lucro pretendida. Assim, o consumidor final teria de suportar todo o custo, mesmo que este resultasse de ineficiência do sistema produtivo.

2) **Cadeia de Valor** – Identificação e análise do fluxo de valor para cada produto. Deve-se analisar e definir a sequência de atividades e processos envolvidos na cadeia de valor e, conseqüentemente, identificar as atividades que não acrescentam valor ao produto.

3) **Fluxo** – Estabelecimento de um fluxo contínuo de valor. Após estar identificada a cadeia de valor e os desperdícios, a organização deve criar um fluxo contínuo, o qual é caracterizado pela capacidade de produzir somente o que é necessário para o momento. Segundo Melton (2005), a falta de fluxo contínuo de valor nos processos de produção é a principal responsável pelos enormes *stocks* existentes em armazém e ao longo da linha de produção, responsáveis pelo consumo de capital humano.

4) **Pull** – Deixar que o cliente “puxe” o produto, através da implementação do sistema *Pull*. Este sistema de produção procura deixar o cliente liderar os processos, i.e. permite produzir somente quando é efetuado o pedido pelo cliente. Assim, esta é a única forma de produzir apenas o necessário, quando necessário, pois apenas é produzido o que o cliente realmente deseja.

5) **Perfeição** – Procura pela perfeição. Após a aplicação e sustentação dos princípios referidos anteriormente, a organização deve procurar constantemente a inovação e a melhoria contínua, e conseqüentemente a perfeição nos processos de eliminação dos desperdícios e na criação de valor. Desta forma, só as atividades que acrescentam valor devem estar presentes nos processos.

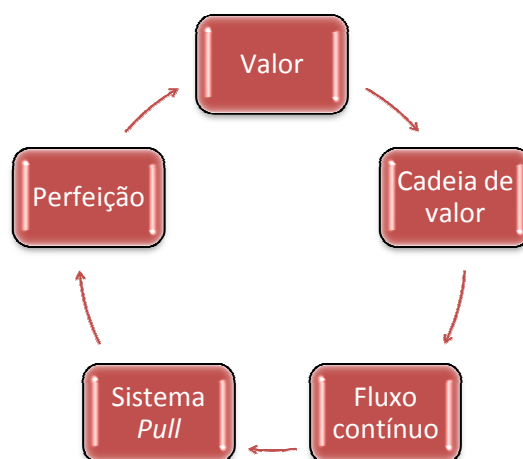


Figura 2.3: Princípios do paradigma *Lean*.

Tendo em conta os princípios referidos, o principal objetivo do paradigma de gestão *Lean* é o aumento da criação de valor através da redução do desperdício, ou seja, criar mais valor com menos recursos. Uma organização *Lean* compreende o que constitui valor para o cliente, sendo que, a partir dessa definição, foca-se nos processos chave para aumentá-lo. O objetivo final será a criação de um processo perfeito de criação de valor para o cliente, procurando continuamente a melhoria do mesmo (Marchwinski *et al.*, 2008).

De acordo com Monden (1998), referido por Chen *et al.* (2010), qualquer atividade numa fábrica pode ser classificada em três categorias: trabalho casual, trabalho de valor acrescentado e desperdício. O trabalho casual consiste em atividades que não acrescentam valor ao produto mas que são necessárias no sistema de produção, como por exemplo os controlos de qualidade. As tarefas de valor acrescentado consistem em todas as atividades que adicionam valor ao produto. O desperdício trata-se de qualquer atividade não necessária, que não acrescenta valor ao produto.

Em muitos casos, mais de 95% do tempo de um operário na fábrica não está a ser utilizado para acrescentar valor ao produto. Relativamente ao material em curso de fabrico, mais de 95% do tempo é passado em armazém à espera de ser transportado, processado ou inspecionado. Por outro lado, uma máquina pode estar a produzir artigos desnecessários ou defeituosos, avariada ou a precisar de manutenção (Suzaki, 2010). Segundo Liker (2004), num qualquer processo genérico, o desperdício pode representar até 95% do seu tempo total, sendo que, tradicionalmente, as organizações tendem a orientar o seu esforço para tentar aumentar a produtividade nas zonas que já acrescentam valor aos produtos, em vez de eliminar as atividades que não o fazem. Este rácio de tarefas que acrescentam valor e desperdício está representado na figura 2.4.

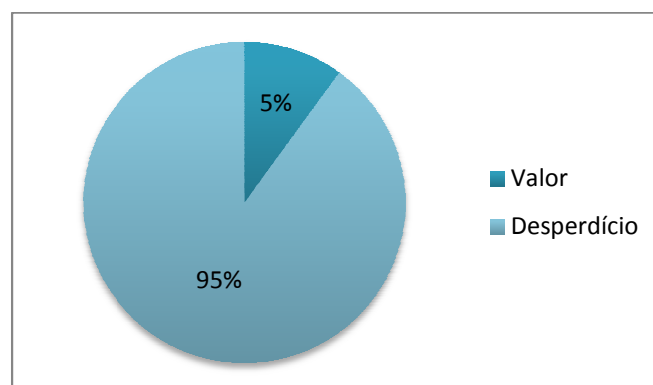


Figura 2.4: Atividades que acrescentam valor e desperdício (adaptado de Suzaki, 2010).

2.1.4 Tipos de desperdício

Taiichi Ohno (1996) e Womack *et al.* (2007) referem que o desperdício está inerente a qualquer atividade que consome recursos, adicionando custos e não gerando valor ao produto ou serviço. Seguindo essa definição, os mesmos autores identificaram sete tipos de *mudas*:

- **Sobreprodução:** A *Toyota* concluiu que este é um dos piores desperdícios que normalmente existem nas fábricas. Este desperdício ocorre quando o que é produzido é superior ao que é encomendado pelo cliente. Isto implica um consumo desnecessário de matérias-primas, uma ocupação dos meios de armazenamento e de transporte, um *stock* elevado e a respetiva mão-de-obra para o controlar. Segundo Suzaki (2010), quando o mercado está em ascensão, este desperdício pode não ser relevante. No entanto, quando esta procura abranda, os efeitos deste desperdício agravam-se e muitas vezes as organizações encontram problemas por terem *stock* adicional de mercadoria não vendida.
- **Stocks:** Existência de materiais, peças e produtos em excesso, relativamente às necessidades do processo ou do cliente, interno ou externo. Este tipo de desperdício requer mais manuseamento, espaço, pessoas, papelada, entre outros. Suzaki (2010) refere que quando se começa a reduzir o nível de *stock* surgem outros problemas, estando alguns exemplos representados na figura 2.5, que precisam de ser resolvidos antes de continuar com essa redução.



Figura 2.5: Problemas encobertos pelo desperdício de *stock* (fonte: Suzaki, 2010, p.38).

- **Transporte desnecessário:** Este desperdício passa pela existência de movimento de produtos que não acrescenta valor, implicando duplo ou triplo manuseamento dos materiais. Este tipo de desperdício pode surgir como consequência de um mau planeamento de *layouts*, que resulta em movimentações de materiais mais do que o necessário. O múltiplo manuseamento dos materiais pode

ocorrer, por estes terem sido armazenados de forma desorganizada ou por estarem constantemente a mudar de local. Segundo Suzaki (2010), para eliminar este desperdício, deve-se ter em consideração melhorias do *layout*, sincronização de processos, meios de transporte, arrumação e organização do posto de trabalho.

- **Tempo de espera:** Trata-se do período em que o material, pessoas, equipamento ou informação não estão disponíveis, quando necessários. As principais causas deste tipo de desperdício passam por avarias de equipamentos, retrabalho das peças, mudanças de ferramentas de trabalho, atrasos ou falta de materiais e de mão-de-obra, interrupções de sequências de operações, gargalos de produção e ineficiência do *layout*.

- **Sobreprocessamento:** O próprio processo em si pode ser uma fonte de problemas, resultando em desperdício desnecessário. O processamento em excesso significa a existência, no processo de produção, de esforços que não acrescentam valor a um produto ou serviço. Este tipo de desperdício surge maioritariamente quando existe uma definição inadequada dos requisitos dos clientes ou um fraco esclarecimento relativamente às instruções de trabalho.

- **Movimentos desnecessários:** Este tipo de desperdício está associado a todo o tipo de movimentos de pessoas que não acrescenta valor ao produto. Este desperdício deve-se principalmente à falta de organização de trabalho, à incorreta disposição dos equipamentos ou ferramentas de trabalho e à utilização de práticas de trabalho incorretas. Segundo Suzaki (2010), algo que não deve ser esquecido é que “movimento não é necessariamente igual a trabalho. Um operário consegue manter-se ocupado durante três horas à procura de ferramentas por toda a fábrica sem acrescentar um único cêntimo de valor ao produto. Em vez disso, adicionou três horas do seu salário ao custo do produto e três horas ao *lead time* do produto antes de este ser entregue ao cliente.”

- **Defeitos:** Os defeitos estão relacionados com erros ou falhas em produtos, que implique a sua rejeição ou necessidade de retrabalho. Este tipo de defeito surge como resultado de problemas internos de qualidade. Segundo Suzaki (2010), quando acontecem defeitos num posto, os operários dos postos seguintes têm desperdícios de espera, acrescentando custo e *lead time* ao produto. A situação mais grave é quando os clientes encontram defeitos depois da entrega do produto, o que leva a custos com garantias e entregas adicionais, podendo-se mesmo perder negócios futuros com o cliente e quota de mercado. Para eliminar este tipo de desperdício, deve ser desenvolvido um sistema que permita a identificação dos defeitos e das condições que os podem originar, de modo a que qualquer pessoa consiga tomar uma ação corretiva imediata.

Moreira *et al.* (2010) sintetizam os 7 desperdícios e os efeitos da sua existência através de um diagrama de *Ishikawa*, o qual está representado na figura 2.6. Neste diagrama, os efeitos estão

representados do lado direito do diagrama, sendo as suas causas (associadas a cada desperdício) discriminadas do lado esquerdo do diagrama. Adicionalmente, Liker (2004) ainda considera um oitavo tipo de desperdício, não sendo, no entanto, facilmente quantificável e a sua inexistência não resulta em impactos negativos para a organização: o não aproveitamento da criatividade dos operadores.

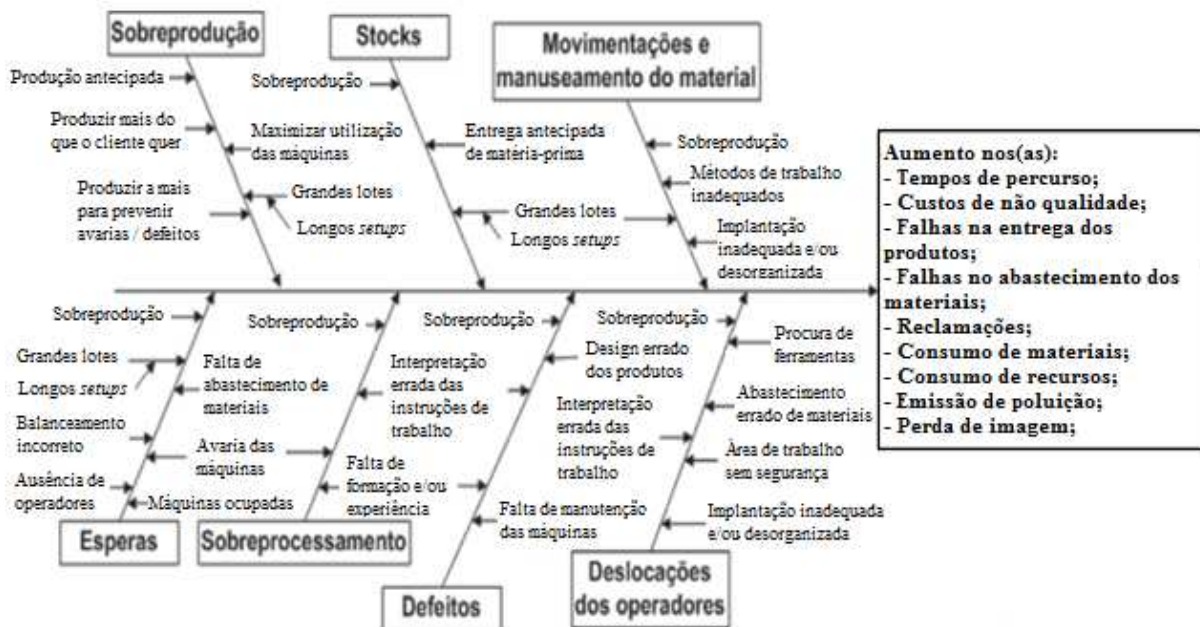


Figura 2.6: Diagrama de Ishikawa representativo dos 7 desperdícios e seus efeitos (fonte: Moreira *et al.*, 2010).

Tendo em conta que o objetivo da melhoria contínua é identificar e reduzir, continuamente, a quantidade de desperdícios num sistema, é importante identificar e distinguir os desperdícios do trabalho casual e das atividades de valor acrescentado. Após identificar o desperdício, o passo seguinte é determinar como reduzi-lo. Uma maneira de o fazer é através do *Kaizen*, cujo objetivo é envolver todos os trabalhadores na filosofia da empresa, de modo a que se originem ideias de pequenas melhorias que se poderão efetuar. É importante perceber que uma série de pequenas e estratégicas melhorias podem rapidamente implicar aumentos na eficiência do sistema produtivo (Bodek, 2002, referido por Chen *et al.*, 2010).

Com a eliminação dos desperdícios ao longo do fluxo de valor, são criados processos que necessitam de menos recursos humanos, menos espaço, menos capital e menos tempo para fazer produtos a um custo muito inferior e com menos defeitos, quando comparados com os sistemas tradicionais de negócio. As empresas adquirem a capacidade de resposta às mudanças das exigências dos clientes, com um elevado nível de qualidade, baixo custo e com tempos muito reduzidos de mudança. Para além disso, a gestão da informação também se torna mais simples e eficaz (Marchwinski *et al.*, 2008).

2.1.5. Benefícios do paradigma *Lean*

Inúmeros estudos de caso têm demonstrado os benefícios passíveis de se obter com a implementação do paradigma *Lean* nos sistemas produtivos das empresas. Um estudo, protagonizado por Alves *et al.* (2011), sintetizou os benefícios obtidos através da aplicação de 41 projetos diferentes relacionados com o paradigma *Lean*, em 18 empresas em Portugal. Os vários benefícios obtidos foram:

- ✓ Redução dos tempos de *setup* das máquinas (27% - 90%);
- ✓ Simplificação do fluxo de materiais, maior transparência do processo e maior facilidade de controlo do mesmo;
- ✓ Maior flexibilidade de produção;
- ✓ Redução de espaço necessário para trabalho;
- ✓ Eliminação de turnos de trabalho e redução do número de trabalhadores;
- ✓ Redução de desperdícios relacionados com movimentos e transportes desnecessários;
- ✓ Redução de tamanho de lotes;
- ✓ Aumento do desempenho das máquinas;
- ✓ Redução do WIP (18% - 84%);
- ✓ Aumento da produtividade (20% - 30%);
- ✓ Redução do *stock* de produtos acabados e de produtos em vias de fabrico;
- ✓ Redução dos tempos de ciclo dos processos e dos prazos de entrega ao cliente;
- ✓ Redução do esforço humano;
- ✓ Nivelamento da produção;
- ✓ Redução de custos;
- ✓ Redução da necessidade de retrabalho e aumento de qualidade;

Para além dos benefícios referidos, Womack e Jones (2003) ainda destacam:

- ✓ Maior precisão nas previsões dos pedidos de produção;

- ✓ Redução do tempo de resposta a alterações de engenharia e a variações de mercado;
- ✓ Maior envolvimento, motivação e participação dos colaboradores nos processos;
- ✓ Capacidade para identificar os problemas e tratá-los mais cedo.

De uma maneira mais simplista e objetiva, Melton (2005) destaca 5 principais benefícios, resultantes da aplicação do paradigma *Lean* nas organizações:

- ✓ Menos desperdício nos processos;
- ✓ Menor *lead time* do produto;
- ✓ Menos erros ocorridos na produção e menor necessidade de retrabalho;
- ✓ Benefícios financeiros;
- ✓ Aumento da compreensão e clareza dos processos;
- ✓ Menos *stock*.



Figura 2.7: Benefícios da aplicação de *Lean* (adaptado de Melton, 2005).

2.1.6. Obstáculos à implementação do paradigma *Lean*

Embora haja uma divulgação alargada acerca do paradigma *Lean* e dos seus benefícios, são muitas as empresas que não a implementam (Maia *et al.*, 2011). Segundo um estudo protagonizado por Silva *et al.* (2010), as principais razões para esta não implementação são:

- Desconhecimento das empresas acerca deste modelo organizacional e de como o implementar;
- Falta de conhecimento e de compreensão sobre os princípios *Lean*;
- Falta de apoio da gestão de topo;
- Desconhecimento dos benefícios trazidos por este modelo ou não sabem como os quantificar;
- Consideração da existência de custos de investimento.

Segundo Melton (2004), os dois maiores obstáculos relacionados com a implementação do paradigma *Lean* na produção são a perceção de falta de benefícios tangíveis e a ideia de que a maior parte dos processos já são suficientemente eficientes. No entanto, ambas as assunções podem ser contrariadas. O mesmo autor refere que a implementação do paradigma *Lean* poderá resultar em melhorias significativas nos resultados financeiros de uma empresa, contrariando o primeiro obstáculo referido. Para além disso, a perceção de que um processo já é suficientemente eficiente pode ser uma grande ilusão, pois a aplicação do paradigma *Lean* permite a revisão da cadeia de abastecimento como um todo e a posição do processo em questão dentro da mesma. Isto revela, na maior parte das vezes, grandes gargalos de produção e bastantes ineficiências. Melton (2005) sugere ainda a principal força resistiva à implementação do paradigma *Lean*, que deve ser contrariada e superada: a resistência à mudança.

Em suma, os obstáculos à implementação do paradigma *Lean* estão representados na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Obstáculos à implementação do paradigma *Lean*.

Fonte	Obstáculos identificados
Silva <i>et al.</i> (2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Desconhecimento das empresas acerca do modelo organizacional, de como o implementar e dos benefícios que podem advir do mesmo; - Falta de conhecimento sobre os princípios <i>Lean</i>; - Falta de apoio da gestão de topo; - Consideração da existência de custos de investimento.
Melton (2004)	<ul style="list-style-type: none"> - Perceção de falta de benefícios tangíveis; - Consideração baseada na impossibilidade de aumentar a eficiência dos processos.
Melton (2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Resistência à mudança.

2.1.7. Como implementar o pensamento *Lean*

Segundo Melton (2005), o processo de implementação do paradigma *Lean* pode ser sucinto nas seguintes fases:

1. Documentar e registrar o desempenho atual do processo;
2. Definir o valor e depois eliminar o desperdício, associado a esse processo;
3. Identificar efeitos indesejados e determinar as suas causas, de modo a identificar o problema principal;
4. Resolver o problema e redesenhar o processo;
5. Testar e demonstrar que o valor e o seu fluxo para o cliente ganharam relevância, comparativamente com o registado antes da implementação.

Para suportar cada passo referido anteriormente, Melton (2005) refere que existem várias ferramentas que permitem auxiliar a implementação dos princípios *Lean* numa organização, as quais são descritas no subcapítulo seguinte.

A implementação da Produção *Lean* é um processo complexo. A adoção das suas técnicas e ferramentas não é condição suficiente para obter os resultados espectáveis, pois o objetivo é criar condições para o fortalecimento de uma nova mentalidade entre o pessoal da empresa e exportar essa mentalidade para as entidades com quem se relaciona. Nesse sentido, a Produção *Lean*, influencia as vertentes organizacionais das empresas, sendo de realçar os aspetos motivacionais que uma gestão estratégica dos recursos humanos possa proporcionar. A organização de equipas, a sua gestão e a procura de líderes poderão ser determinantes na obtenção de uma força de trabalho flexível e multifuncional. Para além disso, a seleção, treino e desenvolvimento do pessoal e da tecnologia, suscitam a necessidade de avaliar o trabalho realizado e gerir continuamente o desempenho (Worley & Doolen, 2006).

2.2. Ferramentas e metodologias do paradigma *Lean*

A implementação do paradigma *Lean* poderá passar pela utilização de várias técnicas e metodologias, o que deve ser feito de um modo coordenado e estruturado (Hunter, 2004). Devem ser sempre obedecidos os princípios fundamentais do paradigma, já mencionados, podendo as metodologias ser

agrupadas nas seguintes principais categorias: fluxo de produção; organização e cultura; controlo de processo; métricas e logística (Feld, 2000).

O pensamento *Lean*, mais do que as suas diretrizes de mudança de paradigmas e mentalidade, fornece uma grande panóplia de ferramentas e metodologias, sendo algumas apresentadas nesta secção (Melton, 2005; Suzaki, 2010; Alves *et al.*, 2011):

- *Value Stream Mapping* (VSM);
- Metodologia 5S;
- *Single Minute Exchange of Die* (SMED);
- *Spaghetti Diagram*;
- *Overall Equipment Effectiveness* (OEE);
- *Kanban*;
- Configuração de *layouts*;
- Técnica dos 5 Porquês (5 *Why's*);
- *Total Productive Maintenance* (TPM);
- *Total Quality Management*;
- Fluxo *One Piece*;
- *Continuous Improvement Process*;
- *Poka-yoke*;
- *Heijunka* (Produção nivelada);
- Padronização de tarefas (*Standard Work*);
- *Andon* – Gestão visual;
- A3;
- *Brainstorming*;

Cakmakci (2009) sugere uma estrutura de classificação de algumas ferramentas e metodologias, representada na figura 2.8.

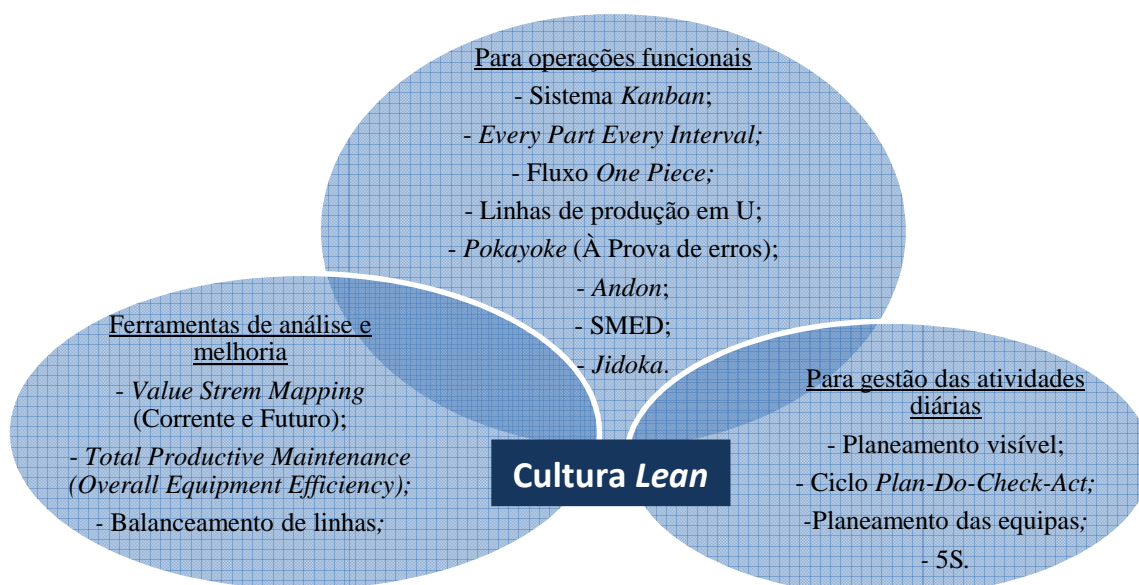


Figura 2.8: Classificação de algumas ferramentas *Lean* (adaptado de Cakmakci, 2009).

Na aplicação de uma ação de melhoria, existem diversas ferramentas e metodologias *Lean* disponíveis, como as referidas anteriormente. Como cada caso é diferente, a determinação de quais ferramentas e metodologias a utilizar faz parte da decisão da administração de topo, dependendo dos objetivos que se pretendem atingir e dos problemas existentes em cada caso (Chen *et al.*, 2010). Nesse sentido, nesta dissertação, apenas vão ser estudadas e exploradas as ferramentas e metodologias utilizadas e relevantes para o estudo de caso realizado.

2.2.1. Kaizen

Kaizen é um termo japonês que significa melhoria contínua (*Kai* – mudança; *zen* – fazer melhor). A ferramenta *Kaizen* é baseada nos fundamentos de análises científicas, ou seja, os elementos do processo devem ser analisados com o intuito de se compreender o seu funcionamento, de modo a descobrir oportunidades de melhoria. Este tipo de mentalidade é considerado a base de toda a filosofia *Lean*, sendo sobre ela que devem atuar todas as ferramentas e metodologias *Lean* (The Productivity Press, 2002).

Segundo Ohno (1996), para o criador do termo *Kaizen*, Masaaki Imai, quando é aplicada esta “mentalidade” no local de trabalho, implementa-se uma metodologia baseada na identificação contínua de oportunidades de melhoria, na sua análise e implementação imediata em toda a

organização. Esta metodologia envolve todos os processos de produção e administrativos, assim como todos os colaboradores de uma organização.

Para Tripp (2010), uma cultura organizacional que implique o estudo e a procura constante de um indivíduo por oportunidades de melhoria é uma excelente maneira de promover a aprendizagem, o desenvolvimento de competências e a melhoria de processos.

Segundo Mika (2006), deve-se elaborar um evento *Kaizen* sempre que é identificada uma área com problema. No *Kaizen* devem estar envolvidos todos os elementos da organização, desde os colaboradores à administração da empresa, adicionando um elemento externo à secção, de modo a oferecer uma visão mais crítica sobre o processo. Cada evento *Kaizen* deve conduzir a respostas/soluções para o problema identificado, definindo-se um programa de implementação de melhoria, sendo sempre nomeado um responsável pelo processo. Mika (2006) ainda refere que o *Kaizen* é uma promessa de mudança, visando sempre um estado futuro melhorado, onde a constante insatisfação e busca por melhorias se consideram fundamentais.

Araújo e Rentes (2006) identificam dois tipos de *Kaizen*:

- *Kaizen* de fluxo: incide no fluxo de valor, dirigido ao cliente;
- *Kaizen* de processo: incide em processos individuais, dirigido às equipas de trabalho e líderes.

Resumidamente, *Kaizen* consiste na mentalidade de suporte de todo o paradigma *Lean*, tratando-se de esforços de melhoria contínua, executados por todos, procurando a eliminação constante de desperdícios. A sua aplicação baseia-se na identificação de eventos *Kaizen*, os quais se definem pela identificação de oportunidades de melhoria e respetiva implementação das melhorias possíveis, utilizando métodos ou ferramentas de produção *Lean*, numa área em particular (Araújo & Rentes, 2006).

2.2.2. Value Stream Mapping

Uma das ferramentas essenciais para se atingir os objetivos delineados pela Produção *Lean* é o *Value Stream Mapping* (VSM), ou Mapeamento do Fluxo de Valor, sendo o seu principal objetivo a realização de um diagnóstico acerca do fluxo de valor existente numa organização. Através deste diagnóstico, é possível verificar a existência de desperdício, sendo posteriormente adotadas medidas para a sua eliminação. O estudo é realizado a um produto, desde a forma de matéria-prima até ao produto acabado, identificando a relação entre o fluxo de material e o fluxo de informação ao longo de toda a produção (Rother & Shook, 2009).

Segundo Womack e Jones (2003), o VSM é uma ferramenta simples e eficaz, onde são mapeados todos os processos utilizados para produzir e enviar o produto, quer sejam processos de valor acrescentado ou não acrescentado, de modo a facilitar a identificação do desperdício e dos processos que são essenciais para a adição de valor ao produto. Rother e Shook (2009) referem que o VSM é bastante útil no processo de visualização do fluxo de valor atual de um processo de produção de uma organização e consequente definição do fluxo de valor futuro.

O funcionamento do VSM resume-se à recolha de dados, com uma posterior análise destes e propostas de melhorias. O estudo relativo ao mapeamento inclui uma panóplia de informações importantes, inclusive sobre as procuras dos clientes, os fornecimentos de matéria-prima, a organização dos processos produtivos, tempos de ciclo, tempos de *setup* de máquinas, *stocks*, número de pessoas envolvidas e formas de transporte. A partir destes dados, concebe-se o mapa do estado atual. A partir deste, utilizam-se os princípios e as práticas do paradigma *Lean* para se trabalhar com o objetivo de melhorar o fluxo de materiais e informação. As propostas de melhoria são também desenhadas, realizando-se o VSM futuro, onde podem estar incluídas propostas relacionadas com, por exemplo, alterações na organização da produção, criação de células de produção e acordos com fornecedores para alterações nos abastecimentos de matéria-prima (Lima & Zawislak, 2003). Todo este ciclo de procedimentos é resumido na figura 2.9.

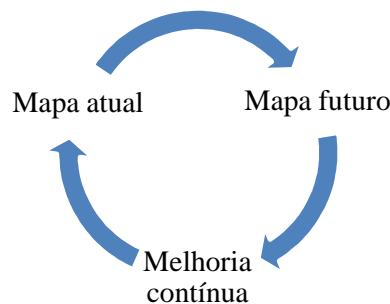


Figura 2.9: Fluxo da melhoria contínua através do VSM (adaptado de Rother & Shook, 2009).

Rother e Shook (2009) definem quatro etapas a seguir, para a aplicação desta ferramenta num contexto prático, as quais estão representadas na figura 2.10. Sucintamente, após a seleção do(s) produto(s) sobre o(s) qual(is) o mapeamento vai incidir, deve-se registar o fluxo de valor atual, incluindo todas as etapas, atrasos e fluxos de materiais e informação. Após o mapeamento atual estar completo, devem-se definir as oportunidades de melhoria, seguindo os princípios *Lean* e procurando eliminar os 7 tipos de desperdício identificados no paradigma *Lean*. A partir daí, deve-se definir o mapeamento futuro, o qual deve refletir o fluxo de valor com as melhorias definidas que se pretendem implementar. Por fim, deve-se desenvolver um plano de trabalhos, que incidirá sobre as ações de melhoria identificadas e como implementá-las.

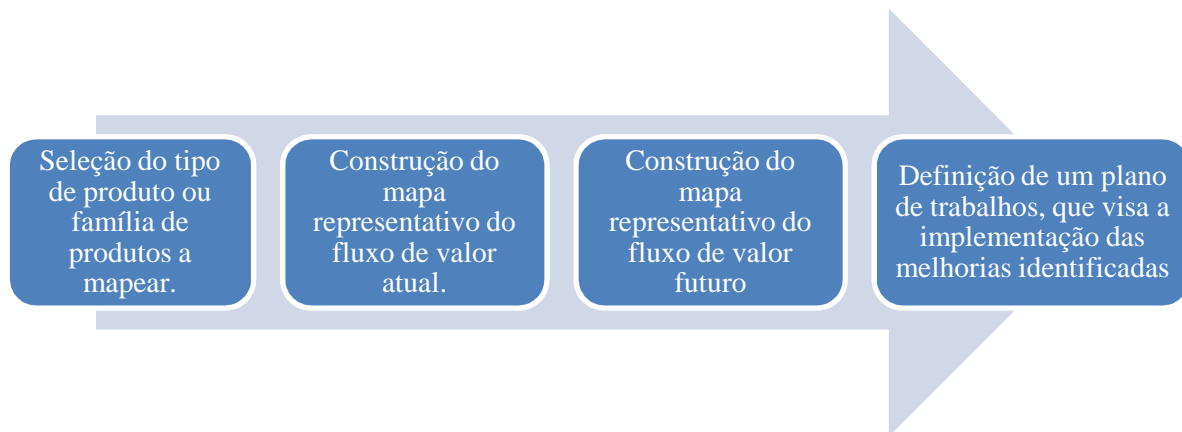


Figura 2.10: Sequência de etapas de aplicação do VSM (adaptado de Rother & Shook, 2009).

Em suma, de acordo com Chen *et al.* (2010), o VSM consiste simplesmente na representação da informação sobre o fluxo de valor para um “mapa”, o qual representa o estado atual e o estado futuro do sistema de produção. Neste contexto, o VSM atual representa os fluxos de material e de informação atuais, ao longo de todo o sistema de produção atual. Por outro lado, o VSM futuro representa o estado ideal do sistema de produção.

Ohno (1996) defende a importância dos dados quantitativos representados no VSM, pois será a partir dos valores recolhidos que serão tomadas decisões em prol da melhoria do fluxo de valor. Nesse sentido, é conveniente a definição de alguns termos, que representam dados que podem ser relevantes:

➤ *Takt time*: Segundo Alvarez e Antunes (2001), o conceito de *takt time* é algo controverso, sendo, no entanto, fundamental para a prática do paradigma *Lean*. Referido pelos mesmos autores, Monden (2012) afirma que o tempo de ciclo consiste no tempo em que uma unidade deve ser produzida, sendo dado pela razão entre o tempo efetivo de operação diária e a quantidade diária necessária de produção. No entanto, Ohno (1996) utiliza o mesmo conceito para definir o *takt time*, o qual é dado pela divisão do tempo diário de operação pelo número de peças requeridas por dia. Alvarez e Antunes (2001) ainda referem Iwayama (1997), que afirma que o *takt time* é o tempo destinado à produção de uma peça ou de um produto em uma célula ou linha de produção, sendo esse tempo determinado e não efetivo.

Alvarez e Antunes (2001), que realizaram um estudo centrado na controvérsia gerada por este conceito, concluíram que a melhor definição para *takt-time* consiste no ritmo de produção necessário para atender um determinado nível considerado de procura, tendo em conta as restrições de capacidade da linha ou célula de produção. Por outras palavras, trata-se do tempo que rege o fluxo dos materiais numa linha ou célula de produção, em que a cada intervalo definido pelo *takt-time*, uma unidade deve ser produzida. Deste modo, o *takt time* diário é dado pela divisão entre o tempo diário disponível para

trabalho e a procura diária, tratando-se do ritmo de trabalho necessário para a satisfação do nível de procura diária.

➤ **Tempo de ciclo:** Considerando-se uma célula ou linha de produção, o tempo de ciclo define-se em função de dois elementos: os tempos unitários de processamento em cada posto de trabalho e o número de trabalhadores. Genericamente, para uma máquina ou equipamento, o tempo de ciclo consiste no tempo necessário para a execução do trabalho numa peça, i.e. trata-se do tempo entre o início da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo, em condições de abastecimento constante (Alvarez & Antunes, 2001).

Alvarez e Antunes (2001) realçam que o ciclo não está vinculado ao início ou término do processamento de um produto na linha de produção, pois, se assim fosse, o tempo de ciclo seria dado pelo somatório dos tempos de operações executadas em cada posto de trabalho. Não sendo assim, o tempo de ciclo da linha de produção será dado pelo tempo de execução da operação associada à máquina/posto de trabalho mais lento.

Relacionando o tempo de ciclo e o *takt time*, se o tempo de ciclo for superior ao *takt time*, não é possível satisfazer os pedidos dos clientes, devido às limitações impostas pela capacidade de produção da linha; por outro lado, se o tempo de ciclo for inferior ao *takt time*, é necessário ter um controlo sobre o volume de produção efetuada ou será gerado, consequentemente, desperdício de sobreprodução (Alvarez & Antunes, 2001).

➤ **Lead time:** O *lead time* é definido pelo tempo necessário para realizar um determinado produto, serviço, tarefa ou trabalho, tendo em consideração o tempo produtivo e não produtivo. Genericamente, pode ser interpretado da mesma maneira que o tempo de ciclo. Porém, este conceito é mais designado para definir o tempo de entrega do produto ao cliente, desde a colocação da sua encomenda até à sua entrega (Marvel & Standridge, 2009; Womack *et al.*, 2007). A diferença entre o tempo de ciclo e o *lead time* é esquematizado na figura 2.11.

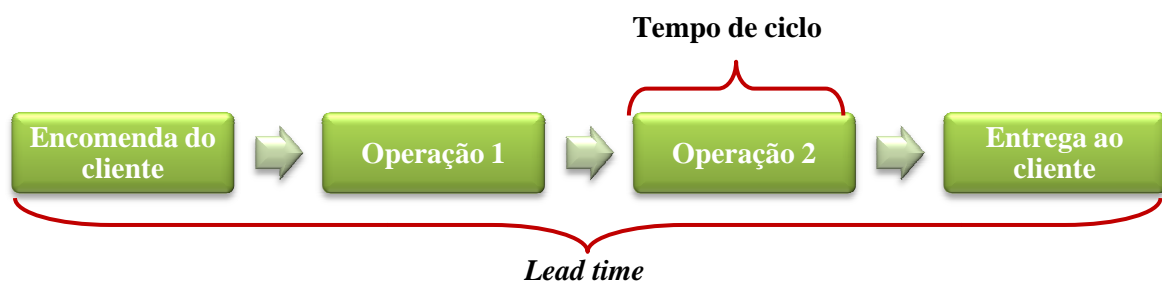


Figura 2.11: Exemplo de tempo de ciclo e ao *lead time*.

➤ **Tempo de agregação de valor:** trata-se, simplesmente, do tempo em que o produto está a ser processado e a ser “alvo” de atividades que lhe acrescentem valor (Lima & Zawislak, 2003).

A. Benefícios

A visão proporcionada pelo VSM permite identificar possíveis gargalos de produção e refletir sobre o que poderá ser modificado no sentido de diminuir desperdícios e, conseqüentemente, custos. Para além disso, trata-se de uma ferramenta simples, de fácil implementação e de baixo custo de execução, proporcionando uma recolha de informações, disponibilizando ao mesmo tempo uma relação de práticas e princípios *Lean*, que auxiliem as empresas nas mudanças identificadas como necessárias e possíveis (Lima & Zawislak, 2003).

Rother e Shook (2009) enumeram os seguintes benefícios associados à utilização do VSM:

- ✓ Melhora a perceção do fluxo de valor ocorrente em toda a organização;
- ✓ Clarifica sistemas complexos, tornando a sua compreensão mais simples;
- ✓ Melhora a visualização da relação entre os processos e entre os fluxos de material e de informação;
- ✓ Ajuda na identificação dos desperdícios e das suas causas;
- ✓ Ajuda na distinção entre as atividades que acrescentam valor das que não acrescentam valor;
- ✓ Permite identificar oportunidades de melhoria;
- ✓ Permite a determinação de quais as ferramentas *Lean* mais adequadas para a execução de melhorias identificadas;
- ✓ Auxilia na descrição do procedimento que uma unidade de produção deve adotar, para criar o fluxo de valor desejado;
- ✓ Permite determinar o que é necessário fazer para se atingirem certos objetivos, através da comparação do fluxo de valor atual com o fluxo de valor desejado;
- ✓ Tem como objetivo central e principal resultado a melhoria da produtividade de uma organização.

B. Obstáculos na implementação

Khaswala e Irani (2001), por outro lado, reconhecem a utilidade da ferramenta, mas referem algumas restrições associadas à aplicação do VSM:

- Dificuldade em aplicar a técnica em vários produtos com fluxos diferentes;
- Ausência de informação relativa a transportes, filas de espera e distâncias de movimentações;
- Inconsideração de indicadores financeiros;
- Ausência de gráficos que permitam a visualização espacial do *layout* e o manuseamento do material;
- Falta de especificidade relativa à informação que consta no fluxo de informação;

C. Exemplo de aplicação

Exemplificando, num estudo de caso recente, protagonizado por Chen *et al.* (2010) e onde foi utilizado o VSM como ferramenta de diagnóstico, foram obtidos resultados bastante positivos como a redução de tempos de processamento, redução dos níveis de inventário entre as operações, aumento da qualidade dos produtos e maior facilidade na detecção de problemas relacionados com a qualidade. Mais, a comunicação necessária na alteração de qualquer fator no sistema produtivo foi bastante simplificada e facilitada, sendo apenas necessário ao gestor informar um operador, substituindo a necessidade de realizar essa comunicação a um grande número de operadores.

2.2.3. 5S

O conceito 5S provém do acrónimo constituído pelos termos japoneses *Seiri* (organização), *Seiton* (arrumação), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (padronização) e *Shitsuke* (disciplina). Este conceito é uma aplicação holística usada para o aumento de moral e de padrões éticos, estando fortemente associado com a constituição da cultura e sociedade japonesas (Kobayashi, Fisher e Gapp, 2008). Liker (2004) refere que todas as atividades inerentes a esta metodologia visam eliminar os desperdícios que contribuem para erros, defeitos e acidentes de trabalho, através da aplicação de um método de gestão visual.

A utilização do conceito 5S, como estratégia para atingir a excelência de um negócio, tem sido evidente no Japão desde a 2ª Guerra Mundial (Osada, 1991). Segundo Kobayashi *et al.* (2008), este conceito é bastante utilizado na aplicação de sistemas de *Total Quality Management*, onde é referido como uma série de iniciativas de qualidade (Mohd & Aspinwall, 2001), uma boa ferramenta de economia doméstica (Ahmed & Hassan, 2003), um programa eficaz de limpeza (Tannock *et al.*, 2002) e um sistema que permite manter um bom ambiente de trabalho (Ho, 1999; Tannock e Krasachol,

1999). Para além disso, o 5S está diretamente relacionado e integrado na cultura *Kaizen*, pois partilham do mesmo objetivo – a melhoria contínua (Imai, 1986).

Osada (1991) refere que a ordem das atividades que compõem os 5S não é importante, sendo que estão todas interligadas e devem ser implementadas simultaneamente e de forma cíclica. O mesmo autor fornece as seguintes descrições de cada atividade componente dos 5S, as quais estão representadas na figura 2.12:

➤ *Seiri* (Organização): nesta fase, é relevante a organização e a colocação de tudo em ordem, seguindo certos princípios e regras. O princípio básico passa pela separação entre o necessário e o desnecessário, com o intuito de criar um sistema eficaz. Segundo Kaplan (2008), o primeiro passo é classificar, diferenciando tudo o que é necessário e não necessário. Para os elementos considerados necessários, deve-se classificar segundo a frequência de utilização (frequente, ocasional ou raramente).

➤ *Seiton* (Arrumação): esta fase visa ter tudo no lugar certo e ter o *layout* adequado para que os trabalhadores possam ter e usar tudo o que necessitem, de forma rápida. Para isto, é necessário analisar a necessidade e a importância dos bens e equipamentos, para cada trabalhador, de modo a determinar a sua melhor localização. Kaplan (2008) refere que os elementos de um posto de trabalho devem estar localizados na área de trabalho numa proporção inversa à sua frequência de utilização. Para além disso, devem-se etiquetar todos os elementos, com a utilização de cores para auxiliar a gestão visual. Nesta fase, a aplicação de *checklists* para a identificação do material pode ser uma ferramenta útil e precisa. Com esta atividade de arrumação, é providenciado um maior controlo do espaço de trabalho e uma maior facilidade para qualquer trabalhador encontrar o que precisa num curto espaço de tempo, eliminando desperdícios relacionados com tempos de procura.

➤ *Seiso* (Limpeza): aqui é dada importância à limpeza e à autoinspeção, de modo a criar um posto de trabalho irrepreensível. Esta atividade tem uma particular importância no que diz respeito ao funcionamento das máquinas e equipamentos, pois se estes forem limpos constantemente, o desempenho funcional dos mesmos será, com certeza, melhor e mais duradouro. Assim, podem ser evitadas avarias e tempos de inatividade. Kaplan (2008) refere que um posto de trabalho limpo confere segurança, maior produtividade e menor exposição ao erro e acidente.

➤ *Seiketsu* (Padronização): esta atividade é relevante para a manutenção das três fases referidas anteriormente, para as quais devem ser criados padrões. Nesta fase, também é relevante a inovação e a gestão visual, tornando tudo mais claro e transparente, utilizando, por exemplo, cores, símbolos e etiquetas, para distinção de diferentes bens.

➤ *Shitsuke* (Disciplina): esta é possivelmente a fase mais difícil de implementar, devido à grande resistência à mudança que pode ser encontrada. Para a implementação do 5S, são necessárias

mudanças proativas no comportamento padrão das pessoas de todos os níveis de uma organização, para ser possível o cumprimento de objetivos de forma eficiente e eficaz.

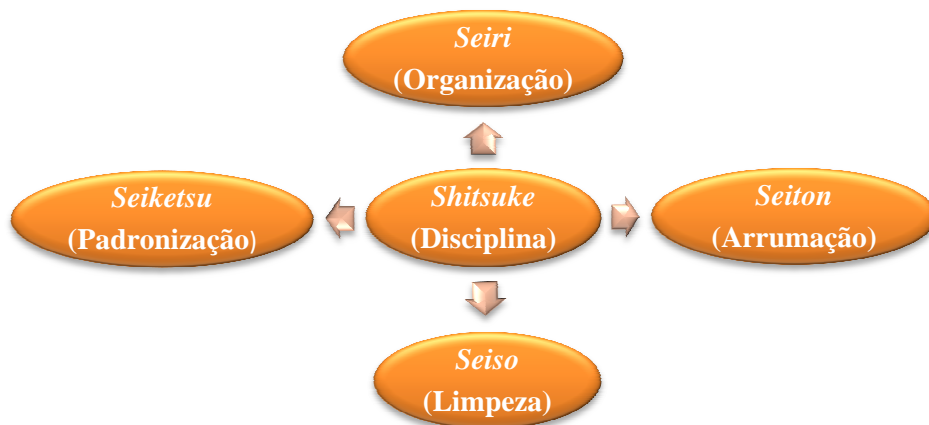


Figura 2.12: Atividades constituintes do 5S (adaptado de Osada, 1991).

Hirano (1995) sugere que o 5S deve ser promovido pela administração de topo, utilizando os seguintes seis passos:

- 1) Estabelecimento de uma organização que promova os 5S: deve ser efetuado por toda a organização;
- 2) Estabelecimento de um plano de promoção dos 5S: agendar atividades de implementação;
- 3) Criação de materiais para campanha dos 5S;
- 4) Educação interna: providenciar treino e formação a todos os intervenientes;
- 5) Implementação dos 5S: utilizar métodos visuais;
- 6) Avaliação e acompanhamento: efetuar avaliações periódicas, com o intuito de verificar, manter e melhorar as condições dos 5S.

Apesar dos conceitos base relativos à metodologia 5S serem inquestionáveis, podem verificar-se duas abordagens diferentes, providenciadas por Osada (1991) e Hirano (1995). Osada (1991) contextualiza os 5S como uma estratégia para o desenvolvimento organizacional, de aprendizagem e de mudança, enquanto Hirano (1995) considera os 5S como uma fórmula industrial que diferencia uma organização dos seus concorrentes. Para além disso, Osada (1991) aborda os 5S como uma filosofia cuja aplicação é cíclica e todos os seus conceitos estão interligados, tendo sempre como base a disciplina (*Shitsuke*). Hirano (1995), por outro lado, aborda os 5S como um modelo sequencial e linear, dando maior relevância à organização (*Seiri*) e à arrumação (*Seiton*), que devem ser aplicados simultaneamente e

previamente à aplicação dos conceitos relativos à limpeza (*Seiso*) e à padronização (*Seiketsu*), que também devem ser aplicados em simultâneo.

A. Benefícios

De acordo com Kobayashi *et al.* (2008), tanto para indivíduos como para organizações, os 5S envolvem atividades de melhoria que podem ser aplicadas em qualquer ambiente, incluindo casas, escolas, comunidades e locais de trabalho. A sua implementação pode revelar problemas escondidos, que de outra forma passariam despercebidos. Os benefícios principais da aplicação dos 5S consistem em:

- Limpeza: para maximização da eficácia, contribui para uma vida mais saudável e para a redução de negligências (devido ao aumento da transparência);
- Ordem: para maximização da eficácia e eficiência, reduz a carga de trabalho dos trabalhadores e a possibilidade de erro humano (devido à simplificação dos processos);
- Disciplina: para aumento do nível de moral e de ética, aumentando também os padrões mínimos através de treino e educação.

Segundo Osada (1991), num local de trabalho, os 5S são utilizados para organizar, arrumar e limpar o posto de trabalho, mantendo condições padronizadas e a disciplina que é necessária para fazer um bom trabalho. A implementação bem-sucedida do 5S aumenta não só a eficiência dos processos e a produtividade, mas também a qualidade dos produtos e a eficácia organizacional através do efeito sinérgico.

B. Exemplo de aplicação

Um estudo recente, protagonizado por Paula e Costa (2009) e que se baseou na demonstração dos impactos resultantes da aplicação da metodologia 5S, evidenciou uma melhoria significativa no crescimento interno dos inquiridos, nomeadamente na mudança de hábitos, de atitudes e de organização, aumentando ao mesmo tempo o desempenho dos colaboradores.

2.2.4. Single Minute Exchange of Die

A tendência atual dos negócios reflete a necessidade de dar resposta às exigências do mercado e de alterar estruturas onde seja necessário, para manter a competitividade. O desafio passa, então, por criar

formas de dar resposta a um mercado que exige variedade de produtos cada vez maior, sendo, ao mesmo tempo, o ciclo de vida dos produtos cada vez menor. Para enfrentar este desafio, tem que se reduzir o *lead time* da produção, os tempos de transporte, os tempos de *setup*, o tamanho dos lotes produzidos e os níveis de *stock* existentes (Suzaki, 2010).

O princípio de análise e redução dos tempos de *setup* ficou conhecido por *Single Minute Exchange of Die*, o qual evolui do trabalho de Shigeo Shingo, na *Toyota Motor Company* (Shingo, 1985). Num trabalho pioneiro de 9 meses, onde esta técnica ainda estava a ser desenvolvida, Shingo conseguiu reduzir o tempo de *setup* de uma prensa de 1000 toneladas, de 4 horas para 3 minutos. Ao longo deste projeto e de mais 19 de anos de estudos, culmina assim um sistema que fica conhecido como SMED (Shingo, 1985). O mesmo autor refere-se a esta técnica como “uma aproximação científica para a redução do tempo de *setup* que pode ser aplicada em qualquer fábrica, em qualquer equipamento”.

Segundo Cakmakci (2009), baseado em Shingo (1985), o sistema SMED é uma teoria e um conjunto de técnicas que tornam possível mudar o *setup* de um equipamento, com o objetivo de atingir a duração máxima de 10 minutos. Embora nem sempre seja possível obter-se valores inferiores a 10 minutos, este sistema melhora o processo de mudança de *setups* e possibilita a redução do tempo de *setup* até mais de 90%.

De acordo com Singh e Khanduja (2010), para além do tempo de *setup* base e irreduzível associado a cada operação de preparação, existem quase sempre outras atividades adicionais que fazem com que esse tempo de *setup* base seja maior. Essas atividades resultam de fatores como falta de padronização nas operações, tolerâncias muito próximas, conceção da máquina, mensurabilidade dos parâmetros de *setup* e limitações humanas. Segundo os mesmos autores, as razões mais comuns que resultam na existência dos fatores referidos são:

- Pouco ênfase dado a este tema, o que resulta num menor esforço realizado no planeamento da produção e na fase de preparação das ordens de produção;
- Falta de procedimentos *standard* para operações de *setup*;
- Pouca sensibilização acerca das técnicas quantitativas que podem ser utilizadas para o cálculo dos requisitos necessários para a obtenção de reduzidos tempos de *setup*;
- Reduzidos níveis de arrumação e limpeza nos postos de trabalho;
- A não existência de *kits* de ferramentas, próprios para as operações de *setup*.

Estas principais causas da existência de elevados tempos de *setup* estão resumidas na figura 2.13.

Causas de elevados tempos de <i>setup</i>				
Pouco esforço realizado na fase de preparação da produção	Falta de procedimentos <i>standard</i>	Pouca sensibilização acerca das técnicas de redução dos tempos de <i>setup</i>	Reduzidos níveis de arrumação e de limpeza nos postos de trabalho	Inexistência de <i>kits</i> de ferramentas

Figura 2.13: Principais causas da existência de elevados tempos de *setup* (fonte: elaboração própria).

De acordo com Shingo (1985), existem dois tipos de *setup*:

- *Setup* interno: operação de *setup* que é efetuada com a máquina parada (como por exemplo, a montagem ou desmontagem de ferramentas);
- *Setup* externo: operação de *setup* que é realizada com a máquina em funcionamento (como por exemplo, o transporte de ferramentas).

Segundo Shingo (1985), para se aplicar o método SMED, é necessário realizar uma análise prévia de todo o processo de preparação, para que sejam identificadas todas as operações que compõem o *setup*. Shingo (1985) sugere ainda a utilização de filmagens de vídeo, amostragens de trabalho e de entrevistas informais com os operários, para se efetuar a análise referida.

As 4 principais etapas a seguir para a aplicação do sistema SMED, representadas na figura 2.14, são (Cakmakci, 2009, baseado em Shingo, 1985):

Estágio preliminar – Conhecido pela fase zero, trata-se do estado no qual não há qualquer distinção entre *setups* internos e *setups* externos. Aqui, apenas é realizada uma discriminação de todas as atividades realizadas numa mudança de ferramentas, devendo ser realizada a cronometragem de cada atividade. Para a realização desta fase, a utilização de sistemas audiovisuais é bastante útil, pois permite a observação detalhada de todas as atividades componentes do processo.

1ª fase – Separação de *setup* interno e *setup* externo – Em grande parte das indústrias, não existe distinção entre os dois tipos de *setup*, pelo que se pode verificar a ocorrência de operações de *setup* externo enquanto a máquina está parada. Nesta fase, partindo da discriminação das atividades realizada anteriormente, deve-se classificar cada uma delas em *setup* interno ou externo, conforme a máquina está parada ou em funcionamento.

2ª fase – Conversão de *setup* interno em *setup* externo – a transformação de operações de *setup* interno em *setup* externo resulta na redução do tempo em que a máquina está parada. Trata-se de uma fase importante, pois visa a diminuição do tempo total de paragem da máquina. Nesta fase, devem ser

identificadas as atividades que podem ser feitas sem necessidade do funcionamento da máquina. Dessa forma, as atividades identificadas podem ser realizadas antes da paragem da máquina ou após a sua ativação;

3ª fase – Racionalização de todas as operações de *setup* – nesta etapa deve ser procurada a simplificação de todas as operações de *setup*, com o intuito de reduzir o custo inerente e o tempo total de *setup*. Esta fase trata-se, provavelmente, da etapa mais crítica da metodologia, pois requer a implementação de mudanças mais complexas. Uma ferramenta bastante útil, que pode ser aplicada para o sucesso desta fase, é a metodologia 5S. Tendo em conta que esta ferramenta visa a arrumação, ordenação e limpeza dos postos de trabalho, pode ser bastante eficiente para a redução dos tempos de *setup* identificados, já que permite a eliminação de alguns tipos de desperdício, como esperas e movimentações desnecessárias.

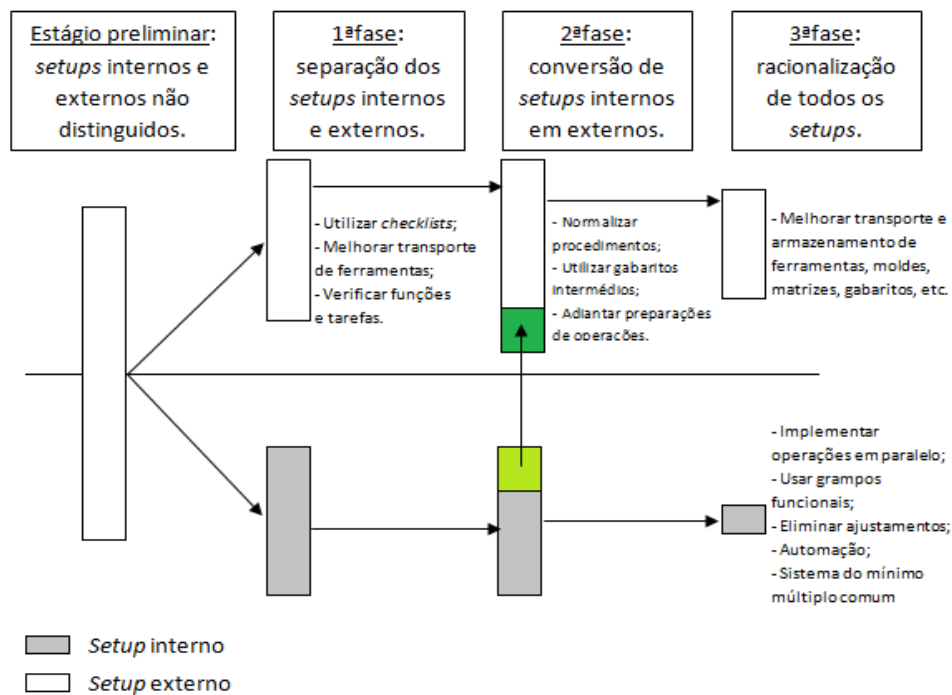


Figura 2.14: As fases conceituais a seguir na aplicação da técnica SMED (adaptado de Shingo, 1985).

A. Benefícios

Suzaki (2010) destaca três motivos principais para a importância da redução dos tempos de *setup*:

- ✓ Redução do tamanho do lote, que leva a uma maior facilidade em gerir mudanças de prioridades de trabalho;
- ✓ Redução do nível de *stock*;

✓ Redução do *lead time* de produção, para que as operações na fábrica se tornem suficientemente flexíveis para responder às mudanças da procura do mercado.

Pode-se afirmar que a aplicação da técnica SMED oferece melhorias a baixo custo, especialmente quando se trata de aspetos organizacionais (Sugay *et al.*, 2009).

B. Obstáculos na implementação

Rech (2004), referido por Sugay *et al.* (2009), apresenta um estudo de caso aplicado numa empresa metalúrgica, no qual houve falhas no processo de implementação do SMED, destacando-se os seguintes problemas organizacionais: negligência durante a fase de preparação para a aplicação da técnica; falta de reuniões periódicas; treino insuficiente da metodologia para os operadores.

C. Exemplos de aplicação

Um estudo de caso recente, elaborado por Singh e Khanduja (2010), onde foi aplicada a técnica SMED, foi possível reduzir um tempo de *setup* total associado a uma máquina de 570 minutos para 298 minutos – uma redução de cerca de 48%. Suzuki (2010) também refere vários ganhos obtidos em empresas, com melhorias em *setups* em fábricas japonesas e americanas, representados na figura 2.15.

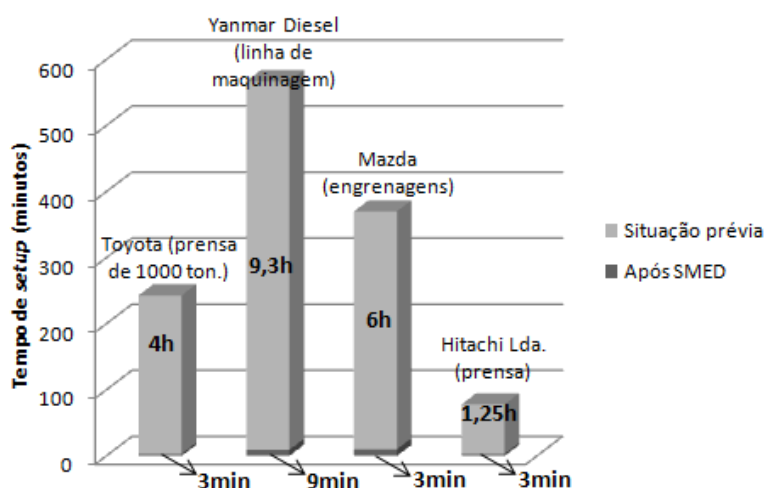


Figura 2.15: Reduções do tempo de *setup* conseguidas em algumas empresas (adaptado de Suzuki, 2010).

2.2.5. Spaghetti Diagram

Segundo Liker (2004), o diagrama esparguete é uma ferramenta que pode ser usada para mapear o trajeto dos materiais ao longo do seu processamento na fábrica. Do mesmo modo, também é aplicável

para o mapeamento do fluxo de informação e de pessoas. A sua designação deve-se ao facto de o gráfico resultante assemelhar-se a uma tigela de esparguete, devido à sua aleatoriedade.

De acordo com Liker (2004), a primeira coisa que se deve fazer na abordagem de qualquer processo é mapear o fluxo de valor que acompanha o circuito do material (ou informação ou pessoa) ao longo do processo, acompanhando todo o trajeto. Através da representação do *layout*, acompanhado do cálculo do tempo e distância percorrida, obtém-se o diagrama esparguete.

O diagrama esparguete é uma ferramenta importante para a identificação de desperdício, que muitas vezes passa despercebido, auxiliando na visualização e compreensão dos processos e procedimentos utilizados, através da determinação do fluxo físico e a distância percorrida pelos materiais, informações ou pessoas. Esta ferramenta providencia a possibilidade de identificar problemas de *layout*, como fluxos fracos, distâncias percorridas excessivas e tempo desperdiçado (Ross, 2013).

2.2.6. Overall Equipment Effectiveness

A Eficácia Global do Equipamento, ou *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), foi primeiramente introduzida por Nakajima (1988), no contexto da filosofia de gestão TPM, sendo diretamente dirigida para os equipamentos/máquinas. A medição da OEE é essencial para a formulação e execução de uma estratégia de melhoria associada à TPM, proporcionando um método sistemático para o estabelecimento de objetivos de produção e para uma visão global da disponibilidade do processo, da eficiência do desempenho e da taxa de qualidade (Bulent *et al.*, 2000, referido por Tsarouhas, 2012).

A OEE é uma métrica quantitativa que tem vindo a ser cada vez mais utilizada nos sistemas produtivos, para controlo e monitorização da produtividade dos equipamentos produtivos, constituindo também um indicador de desempenho e um guia para a determinação de oportunidades de melhoria. A OEE engloba três importantes componentes: a disponibilidade, a produtividade e a qualidade (Samuel *et al.*, 2002).

Nakajima (1988) descreve seis principais perdas de equipamento:

1. Perdas relacionadas com a falha/avaria de um equipamento, podendo ser perdas de tempo – quando a produtividade é reduzida – ou perdas de qualidade – causadas por produtos não conformes.
2. Perdas de tempo em ajustamentos/*setups*, resultantes de tempos de inatividade e do surgimento de produtos defeituosos. Estas perdas acontecem, maioritariamente, na mudança de produção para outro tipo de produto, requerendo o ajustamento dos equipamentos.

3. Perdas inerentes à ocorrência de pequenas paragens na produção ou de tempo ocioso, resultantes de funcionamentos defeituosos dos equipamentos.

4. Perdas relacionadas com a reduzida velocidade de produção, a qual é dada pela diferença entre a velocidade atual e a velocidade ideal de um equipamento.

5. Perdas de baixo rendimento, que ocorrem maioritariamente no início do funcionamento dos equipamentos, devido à necessidade de estabilização inicial.

6. Perdas de qualidade, englobando produtos inconformes e produtos que necessitem de retrabalho, que surgem devido a funcionamento defeituosos dos equipamentos.

De acordo com Tsarouhas (2012), as perdas 1. e 2. são caracterizadas como as perdas de tempo de inatividade, que são utilizadas para o cálculo da disponibilidade de um equipamento. Por outro lado, as perdas 3. e 4. são conhecidas pelas perdas de velocidade, as quais definem a eficiência de desempenho do equipamento. Por fim, as últimas 2 perdas são consideradas as perdas de qualidade (sucata, retrabalho e perdas de arranque), constituindo a taxa de qualidade:

$$\text{- Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de carregamento} - \text{Tempo de inatividade}}{\text{Tempo de carregamento}}$$

$$\text{- Eficiência de desempenho} = \frac{\text{Quantidade processada} \times \text{Tempo de ciclo atual}}{\text{Tempo operacional}}$$

$$\text{- Taxa de qualidade} = \frac{\text{Quantidade processada} - \text{Quantidade de produtos defeituosos}}{\text{Quantidade processada}}$$

Os três componentes referidos contribuem para a determinação do valor da OEE, através da multiplicação dos três valores obtidos (Tsarouhas, 2012).

A. Benefícios / Exemplo de aplicação

Num estudo onde foi realizada uma avaliação da importância da OEE num contexto prático, efetuado por Muchiri e Pintelon (2008), foi concluído que a OEE é uma métrica importante que providencia informações relativas ao tempo desperdiçado e à produção perdida. É uma ferramenta que pode constituir um papel importante na otimização do desempenho da capacidade existente, sendo essencial para o desencadeamento de capacidade encoberta e, consequentemente, para a redução de custos.

2.2.7. Kanban

Para um funcionamento eficaz e bem-sucedido do sistema JIT, a utilização da ferramenta *Kanban* é essencial, pois possibilita a obtenção de um fluxo regular de materiais na fábrica e nos fornecedores. *Kanban*, que significa cartão ou cartão de instruções em japonês, trata-se de uma ferramenta de controlo da produção que identifica a referência de uma peça, quantidade, origem, destino e outras informações relevantes. Esta ferramenta deve ser aplicada juntamente com o supermercado, o qual pode ser equiparado a um processo a montante de uma fábrica, sendo que o processo a jusante (cliente) dirige-se ao processo a montante (supermercado) para obter as peças de que necessita (mercadorias), no instante e na quantidade necessária (Suzaki, 2010).

Pode-se afirmar que a ferramenta *Kanban* está inerente ao sistema de produção *Pull* a partir da procura, sendo o ritmo de produção determinado pelo ritmo de circulação de *Kanbans*, o qual é determinado pelo ritmo de procura dos produtos, no sentido jusante do fluxo de produção (Lourenço, 2008, referido por Carvalho, 2010).

Para melhor compreensão do funcionamento desta ferramenta, Suzaki (2010) exemplifica uma situação prática com a sequência de acontecimentos representada na figura 2.16. Perante este exemplo, Suzaki (2010) refere que seria ideal a eliminação do armazém (que cria desperdício), o que levaria à existência de um único tipo de cartão, em vez de dois como é descrito nessa situação. Para além disso, Suzaki (2010) ainda refere a possibilidade de existir um processamento eletrónico de dados, tal como códigos de barras e leitores óticos, para transferir ou recolher informações.

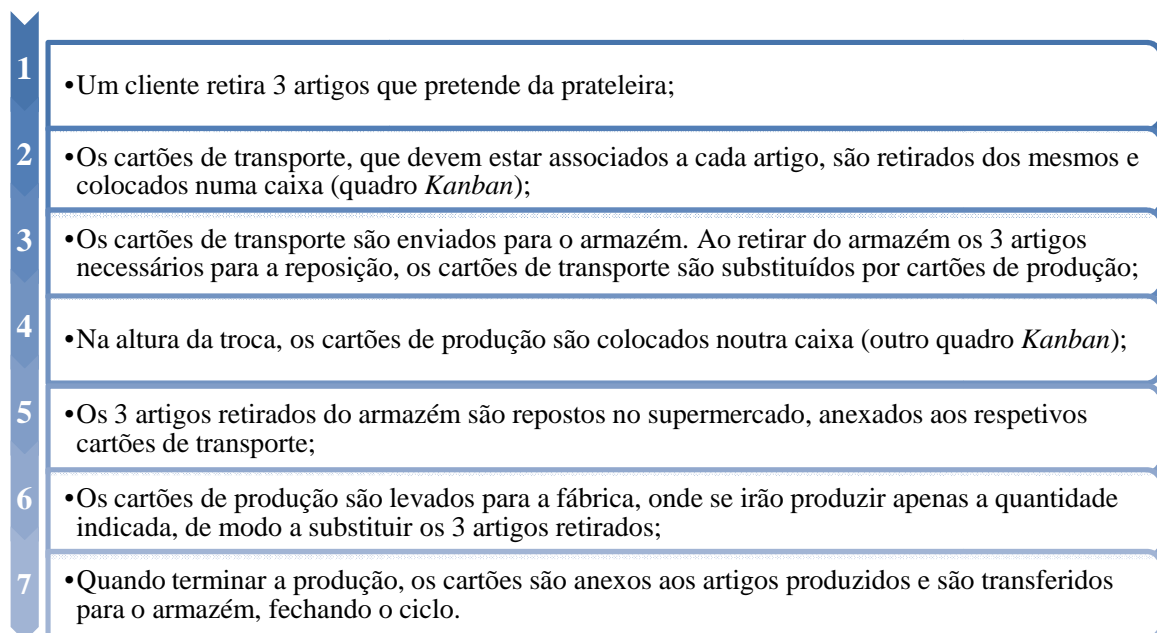


Figura 2.16: Exemplo de aplicação da ferramenta *Kanban* (Suzaki, 2010).

Um sistema *Kanban* pode funcionar com um cartão – *Kanban* de produção – ou com dois cartões – *Kanban* de produção e *Kanban* de transporte. Caso a distância entre dois postos de trabalho consecutivos seja reduzida, pode-se implementar o sistema *Kanban* de um cartão, utilizando-se um *buffer* entre as duas estações. Caso essa distância seja considerável, deve-se utilizar um sistema *Kanban* de dois cartões, com dois *buffers* – um de entrada e outro de saída (Kumar & Panneerslevam, 2007).

A. Benefícios

Cimorelli (2006) identifica algumas vantagens associadas à implementação desta ferramenta *Lean*, como a simplicidade de funcionamento, o baixo custo de implementação, o inventário reduzido devido à limitação das quantidades produzidas, a produção do mínimo de desperdício (excesso de produção, *stocks* desnecessários e ocupação de espaço físico de armazéns), melhoria na sincronização do sistema produtivo, delegação de responsabilidades aos colaboradores, melhoria da comunicação e do trabalho em equipa e diminuição do *lead time*.

B. Obstáculos na implementação

Uma grande limitação do sistema *Kanban*, referida por Krishnamurthy *et al.* (2004), é o facto de constituir, juntamente com o sistema *Pull*, um sistema reativo, i.e. a produção apenas é desencadeada para repor *stocks* já consumidos. Isto tem como base a convicção de que é expectável que toda a procura poderá ser satisfeita com o nível de *stock* existente, sendo a informação preditiva da procura futura necessária e utilizada para definir os níveis globais de *stocks* periódicos.

C. Exemplo de aplicação

Num estudo protagonizado por Rocha *et al.* (2008), onde foi implementado um sistema de produção *pull* com a utilização de *kanbans*, substituindo o sistema *push* existente anteriormente, foram obtidos ganhos substanciais como a redução do *lead time* em 30,56% e o valor de WIP em 17,63%. A única limitação observada neste estudo foi a resistência dos operários em adotar os novos métodos de trabalho, tendo sido necessária a execução de várias formações para que esse obstáculo fosse ultrapassado.

2.2.8. Configuração de *layouts*

Uma metodologia essencial para a melhoria da eficácia e eficiência dos processos produtivos está associada à configuração de *layouts*. Um *layout* mal concebido pode implicar uma quantidade significativa de desperdícios, sendo que a sua melhoria, por mais básica que seja, pode ter um impacto bastante considerável. A situação onde se pode verificar uma maior quantidade de desperdício é quando a disposição do *layout* é orientado por processo/função. Neste caso, as máquinas/postos de trabalho são agrupados tendo em conta a semelhança das operações e não o fluxo do produto. As razões pelas quais isto acontece consistem no pressuposto de que as máquinas e operações semelhantes devem ser controladas por um único supervisor, numa só área e também no facto de que, à medida que a fábrica expande, os novos postos são criados onde existe espaço disponível (Suzaki, 2010).

Segundo Drira *et al.* (2007), o posicionamento das instalações numa área fabril é conhecido por ter um impacto significativo sobre os custos de produção, trabalho em curso, *lead times* e produtividade. Os mesmos autores referem que um bom posicionamento das instalações contribui para a eficiência geral das operações e pode reduzir até 50% do total das despesas operacionais.

Raman *et al.* (2009) efetuaram um estudo onde analisaram o impacto de determinados fatores na eficácia e no desempenho dos processos desempenhados numa organização, sendo o resultado apresentado na tabela 2.4.

Suzaki (2010) refere, para além do comprometimento da comunicação e da visibilidade dos processos, os tipos de desperdício que podem ser encontrados em *layouts* orientados por processo:

- Dificuldade na coordenação e planeamento da produção;
- Desperdício de transporte;
- Acumulação de *stock* intermédio (WIP);
- Múltiplo manuseamento de materiais;
- *Lead times* longos;
- Dificuldade na identificação das causas originais dos defeitos;
- Dificuldade na criação de *standards* para fluxos de materiais e trabalho dos operários, havendo, por isso, dificuldade na implementação de melhorias;

Tabela 2.4: Fatores que determinam a eficácia de um *layout* (adaptado de Raman *et al.*, 2009).

Eficácia do layout	Diferença de proximidade	Fluxo de materiais	Deslocamentos de transportadores vazios de materiais		
			Deslocamentos de transportadores carregados de materiais		
		Fluxo de não materiais	Fluxo de informação		
			Fluxo de pessoas		
			Fluxo de outros equipamentos		
	Flexibilidade do layout	Flexibilidade de expansão	Facilidade de expansão		
			Espaço livre disponível	Concentração de espaço livre	Número de espaços livres com área utilizável
					Número de espaços livres em bom estado
				Área total de espaço livre	
		Flexibilidade de volume	Variações no volume de procura		
			Variações no custo de manuseio de materiais		
		Flexibilidade de rotas	Número médio de rotas alternativas		
			Acessibilidade de rotas alternativas		
		Utilização de área produtiva	Área de adição de valor		
	Área de não adição de valor				

A alternativa ao *layout* orientado por processo é a recorrência a um *layout* orientado por produto, onde o material flui de acordo com a sequência dos processos e existe menos confusão sobre o destino do produto, tanto em via de fabrico como acabado. Para além disso, os processos estão mais próximos e a distância que o material percorre para concluir a sequência de produção será significativamente menor (Suzaki, 2010).

A. Benefícios / Exemplo de aplicação

Segundo Aase *et al.* (2004), a atribuição de múltiplas funções a um trabalhador será possível ao implementar um *layout* de uma linha de produção em forma de U, ao contrário das linhas tradicionais dispostas em linha reta. Desta maneira, os trabalhadores podem mover-se entre os dois lados da linha em U, sendo possível a atribuição de responsabilidade de um maior número de tarefas a um mesmo trabalhador. Esta flexibilidade permite a redução do número de trabalhadores necessários para desempenhar um certo número de tarefas e, deste modo, criar um *layout* mais eficiente. Para além disso, uma linha nesta forma providencia um aumento de produtividade, exemplificado no estudo de caso protagonizado por Aase *et al.* (2004), onde o aumento de produtividade obtida ultrapassou os 10%.

B. Obstáculos na implementação

Suzaki (2010) alerta para as dificuldades que podem ser encontradas, devendo ser combatidas, ao adotar um *layout* orientado por produto: a dificuldade em treinar e supervisionar os operários responsáveis pela mesma operação e a menor flexibilidade quando as máquinas não estão todas no mesmo local, caso se verifique uma avaria numa delas.

2.3. Fundamentos e conceitos no âmbito da filosofia Seis Sigma

Os fundamentos e conceitos relativos à filosofia Seis Sigma são apresentados em dois subcapítulos. Primeiro, é explorada a informação relativa à origem da filosofia e respetiva evolução e definição. De seguida, são abordados conceitos associados à implementação da filosofia, como a estrutura das forças de trabalho e modelos de implementação, referindo-se também exemplos de casos práticos onde o Seis Sigma tenha sido implementado.

2.3.1. Origem e definição da filosofia Seis Sigma

O Seis Sigma é um conceito originado nos Estados Unidos, na empresa Motorola Inc., em meados da década de 1980. Na altura, a empresa enfrentava a ameaça da competitividade do Japão na indústria eletrónica e precisava de realizar melhorias drásticas nos seus níveis de qualidade (Harry & Schroeder, 2000, referidos por Linderman *et al.*, 2003). Nesse sentido, a filosofia Seis Sigma foi um caminho encontrado pela Motorola para expressar o seu objetivo de taxa de qualidade de 3,4 Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO), sendo uma oportunidade de defeito uma falha numa especificação do processo que é crítica para o cliente. A Motorola estabeleceu, assim, a meta referida de modo que a variabilidade do processo fosse tal que os limites de especificação se encontrassem a pelo menos 6 desvios padrão da média do processo. Mais tarde, assumiram que o processo pode, a longo prazo, ter sido alvo de distúrbios que causassem a sua instabilidade e, conseqüentemente, a mudança da média do processo até mais ou menos 1,5 desvios padrões, que resultaria num valor de 3,4 DPMO (Breyfogle *et al.*, 2001, e Montgomery, 2001, referidos por Linderman *et al.*, 2003). Assim, o principal objetivo inerente a esta filosofia, baseada em métodos e ferramentas estatísticas, é o estabelecimento, a curto prazo, das especificações em 6 desvios padrão a partir da média. Mais especificamente, pretende-se reduzir, no longo prazo, o número de defeitos para um máximo de 3,4 por cada milhão de oportunidades, como está representado na figura 2.17. Este valor possibilita a criação de uma produção quase sem defeitos, gerando um valor de 99,9997% de produtos conformes (Linderman *et al.*, 2003).

Assim, o nível sigma de um processo está associado ao valor de DPMO verificados nesse mesmo processo. De outra perspectiva, o nível sigma está associado à variabilidade de um processo, sendo o seu valor equivalente à distância, em desvios padrão, entre os limites de especificação e a média do processo (Werkema, 2004).

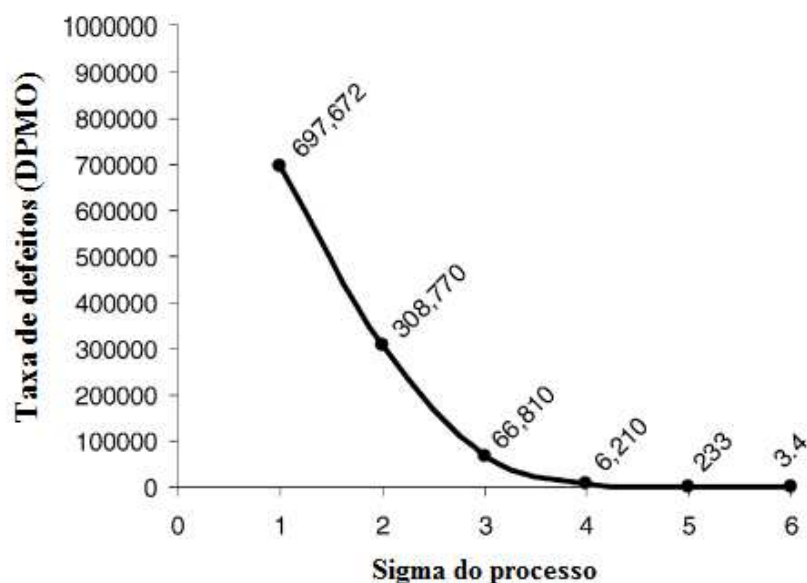


Figura 2.17: Variação da taxa de defeitos consoante o nível sigma do processo (adaptado de Linderman *et al.*, 2003).

Linderman *et al.* (2003) referem-se ao Seis Sigma como um método organizado e sistemático para a melhoria estratégica de processos e de novos produtos, que depende de métodos estatísticos e científicos para a realização de reduções significativas na taxa de defeitos definida pelo cliente. O Seis Sigma tem sido caracterizado como o último conceito de gestão que reúne antigos princípios, práticas e ferramentas da gestão da qualidade (Clifford, 2001, referido por Schroeder *et al.*, 2008). Apesar da existência de críticas baseadas na falta de inovação e na carência de validade de distinção sobre as anteriores abordagens da gestão da qualidade (Clifford, 2001; Dalglish, 2003; Stamatis, 2000, referidos por Zu *et al.*, 2008), o Seis Sigma tem sido implementado em organizações com um bom registo de organização e qualidade, como a Ford, a Honeywell e a American Express, tendo-se obtido benefícios substanciais (Hahn *et al.*, 2000, referido por Schroeder *et al.*, 2008). Um estudo protagonizado por Schroeder *et al.* (2008), apesar de ter evidenciado a similaridade entre a filosofia e ferramentas do Seis Sigma e da gestão da qualidade, concluiu que o Seis Sigma representa uma nova abordagem organizacional e estrutural para atingir melhorias e reduções na variabilidade.

Para além das já referidas definições, apresentadas por Linderman *et al.* (2003) e por Schroeder *et al.* (2008), várias outras definições complementares relativas à filosofia Seis Sigma podem ser encontradas em livros e artigos, algumas das quais apresentadas na tabela 2.5.

Tabela 2.5: Diferentes definições da filosofia Seis Sigma (adaptado de Schroeder *et al.*, 2008).

Definição	Autor
Abordagem de elevado desempenho e orientada por informação, para a análise das causas base de problemas de negócio e para os resolver.	<i>Blakeslee (1999)</i>
Processo de negócio que permite às empresas melhorar drasticamente os seus resultados, através da conceção e monitorização diária de todas as atividades do negócio, de forma a minimizar desperdício e recursos e a aumentar a satisfação do cliente.	<i>Harry & Schroeder (2000)</i>
Método baseado na estatística e na disciplina, que visa a melhoria da qualidade do produto e dos processos.	<i>Hahn et al. (2000)</i>
Estratégia de gestão que requer uma mudança na cultura da organização.	<i>Sanders & Hild (2000)</i>
Metodologia que se centra em reduzir a variação e defeitos de uma medida, melhorando simultaneamente a qualidade dos produtos, processos e serviços.	<i>Furterer & Elshennawy (2005)</i>

A filosofia Seis Sigma, baseada em teorias estatísticas, assume que todos os fatores de um processo podem ser caracterizados e representados por uma curva de distribuição estatística. Com isto, como já foi referido, o objetivo é eliminar praticamente todos os defeitos de todos os processos e produtos. Para isso, esta filosofia é sustentada por uma panóplia de ferramentas, as quais devem ser aplicadas de uma forma metódica e organizada, para a completude dos objetivos pretendidos (Taghizadegan, 2006).

Brue (2005) refere que a maioria das empresas funciona com um sistema da qualidade de quatro sigma, o que significa que têm como expectativa a obtenção de 6210 defeitos por milhão. Tendo em conta que num sistema da qualidade de Seis Sigma apenas é tolerável a verificação de 3,4 defeitos por milhão, é óbvio que a diferença é bastante acentuada. O mesmo autor refere-se ao Seis Sigma como uma metodologia que mede estatisticamente a verdadeira capacidade de um processo, correlacionando as suas características com os restantes processos da organização. Estas melhorias são atingíveis através da eliminação da variação desnecessária, da existência de uma mudança de cultura empresarial e da criação de uma infraestrutura sustentada unicamente no aumento das taxas de produção, rentabilidade e satisfação do consumidor.

Em suma, Werkema (2004) apresenta sete características inerentes ao 6 Sigma, que o definem e que permitem a compreensão desta filosofia de forma mais ampla:

- A escala sigma: é utilizada para a quantificação do nível de qualidade associado a um processo, sendo o nível de qualidade proporcional ao valor alcançado na escala sigma;
- A meta: o objetivo do Seis Sigma em atingir um nível muito próximo dos zero defeitos;

- O *benchmarking*: é utilizado para comparar o nível de qualidade entre produtos, operações e processos;
- A estatística: os métodos estatísticos que são utilizados na avaliação do desempenho das características críticas da qualidade em relação às especificações;
- A filosofia: a base da melhoria contínua dos processos e da redução de variabilidade;
- A estratégia: é baseada na interligação entre o projeto, a fabricação, a qualidade final, a entrega do produto e a satisfação dos clientes;
- A visão: o objetivo global de levar a empresa a ser a melhor no seu ramo.

2.3.2. Implementação da filosofia Seis Sigma

Linderman *et al.* (2003) referem que nem todos os processos devem operar no nível Seis Sigma. O nível sigma apropriado deverá depender da importância estratégica do processo e da relação entre o custo da melhoria e o seu benefício. Se um processo operar a um nível 2 sigma ou 3 sigma, será eventualmente mais fácil obter um nível 4 sigma, com um baixo custo associado. No entanto, para atingir um nível 5 sigma ou 6 sigma irá requerer muito mais esforço e sofisticação nas ferramentas estatísticas. O derradeiro fator que determinará a decisão de implementação de um aumento no nível sigma será o retorno do investimento e a importância estratégica do processo.

Segundo Taghizadegan (2006), a implementação da filosofia Seis Sigma requer uma total integração de todos os departamentos de uma organização, pois, caso contrário, a implementação desta filosofia dificilmente permitirá a obtenção de resultados positivos. Nesse sentido, para além da indispensabilidade de compromisso por parte da administração, as equipas deverão ser compostas por seis níveis de força de trabalho (Marques *et al.*, 2013):

- Gestão de topo: Para o sucesso de um projeto Seis Sigma, é essencial verificar-se um total comprometimento da gestão de topo, assim como o seu suporte e envolvimento no projeto. A gestão de topo deve ser responsável pela definição da orientação estratégica do projeto e pela nomeação do(s) *Champion(s)*.
- *Champion*: A(s) pessoa(s) que representa(m) esta equipa deve(m) pertencer ao setor executivo ou a qualquer cargo administrativo da organização. A principal função desta equipa é supervisionar os resultados e o sucesso dos projetos. Basicamente, sendo o nível mais elevado de especialização em Seis Sigma, possuem a responsabilidade de assegurar que os objetivos financeiros dos projetos são

alcançados. É o *Champion* que tem a responsabilidade de aprovar a declaração do projeto (*Project Charter*) e de reportar à gestão de topo.

- *Sponsor*: Este elemento ocupa, geralmente, cargos de gestão de uma área funcional ou de um processo. É responsável pela identificação de potenciais projetos Seis Sigma na sua área de responsabilidade, providenciando recursos e removendo barreiras ao longo do projeto. É também responsável pela revisão e pelo acompanhamento do progresso do projeto e da equipa.

- *Master Black Belt*: Os indivíduos que integram esta equipa, também conhecidos por gestores da qualidade, possuem conhecimentos avançados em análises estatísticas, estratégias de negócio e liderança, tendo também uma extensiva experiência na aplicação de metodologias associadas à filosofia Seis Sigma. Esta equipa tem também a responsabilidade de instruir e ensinar aqueles que pertencem à equipa *Black Belt*. Em suma, esta equipa compõe todos aqueles que são responsáveis por solucionar todas as dúvidas relacionadas com a implementação de um projeto referente à metodologia Seis Sigma.

- *Black Belt*: Um indivíduo que tenha este título é o líder técnico de um projeto *Lean* e Seis Sigma, coordenando os *Green Belt* na resolução de problemas. Esta equipa deve estar totalmente familiarizada com os métodos estatísticos e com a filosofia Seis Sigma, assim como os projetos que vão integrar, necessitando de treinos e formações intensivas. Devem ter boas capacidades de liderança e de comunicação, devendo receber uma formação, geralmente, de 4 semanas.

- *Green Belt*: As equipas de *Green Belts* trabalham com as equipas de *Black Belts* na resolução de problemas e nos projetos de melhoria, tratando-se do conjunto de empregados envolvidos neste tipo de projetos. Os integrantes desta equipa devem ter conhecimentos em estatística e em conceitos básicos relativos à filosofia Seis Sigma.

Zu *et al.* (2010) referem vários estudos (Zu *et al.*, 2008; Nonthaleerak & Hendry, 2008; Szeto & Tsang, 2005) onde foram identificadas três práticas essenciais para a implementação dos princípios e métodos associados ao Seis Sigma, os quais são a estrutura de funções Seis Sigma (supramencionada), o procedimento estruturado de melhoria e o foco nas métricas Seis Sigma.

Chakravorty (2009) sugere um modelo de implementação da filosofia Seis Sigma, representado na figura 2.18, o qual descreve um procedimento estruturado para a implementação de melhorias numa organização.

1. Análise estratégica das necessidades do mercado/cliente
•Estabelecer objetivos.
2. Formação de equipa do projeto
•Desenvolver um guia do projeto de melhoria;
•Estabelecer um orçamento para a implementação;
•Estabelecer matrizes de desempenho.
3. Estabelecimento ferramentas de melhoria gerais
4. Desenvolvimento do mapeamento do processo e priorização das oportunidades de melhoria.
•Estabelecer contacto com os empregados e definir responsáveis por secções do projeto.
5. Planeamento detalhado e formação de pequenas equipas responsáveis pelas melhorias a desenvolver
6. Implementação, documentação e revisão
•Melhoria contínua.

Figura 2.18: Modelo de implementação da filosofia Seis Sigma (adaptado de Chakravorty, 2009).

A conhecida empresa Motorola Corporation, onde foi desenvolvida e originalmente implementada esta filosofia, obteve um aumento de 6 bilhões de dólares em 10 anos, desde que implementaram o programa Seis Sigma. Outro exemplo de sucesso obtido com a implementação desta filosofia ocorreu na empresa General Electric, que foi capaz de obter um aumento de lucro na ordem dos 4 bilhões de dólares por ano. A filosofia Seis Sigma possibilita a obtenção de um impacto financeiro muito significativo em qualquer empresa, pois os custos da qualidade são reduzidos para menos de 1% do total de receitas (Taghizadegan, 2006). Outro estudo, protagonizado por Schroeder *et al.* (2008) num fabricante de componentes eletrônicos, refere um registo de ganhos da empresa na ordem dos 400 milhões de dólares em 3 anos, resultantes da aplicação da filosofia Seis Sigma. Werkema (2004) cita alguns casos de sucesso, quantificando os respetivos ganhos financeiros em determinados períodos de tempo, conforme está representado na figura 2.19.

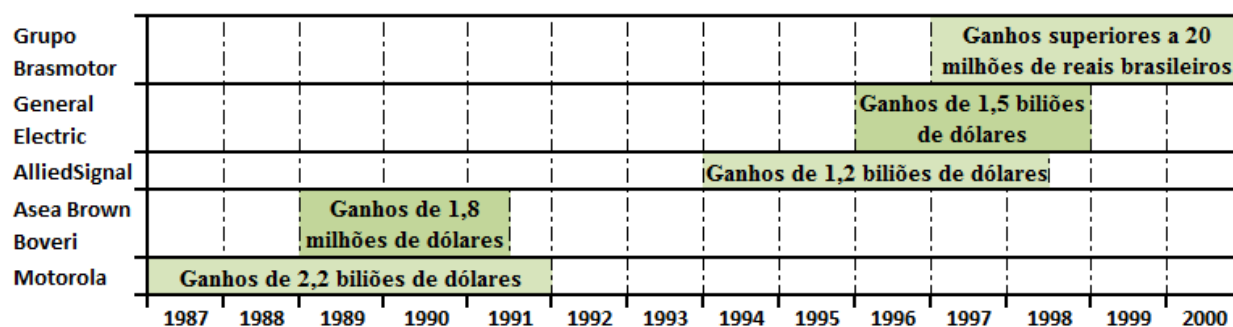


Figura 2.19: Ganhos obtidos em empresas com a implementação do Seis Sigma (adaptado de Werkema, 2004).

Fursule *et al.* (2012) referem a possibilidade de enfrentar os seguintes possíveis obstáculos, na implementação da filosofia Seis Sigma numa organização:

- Falta de comprometimento da gestão de topo e dos trabalhadores;
- Inexistência de uma participação ativa nos projetos Seis Sigma por parte dos fornecedores;
- Inexistência de uma participação ativa nos projetos Seis Sigma por parte dos clientes.

Apesar dos obstáculos identificados, Fursule *et al.* (2012) destacam a nova e eficaz abordagem organizacional inerente à filosofia Seis Sigma, a qual permite a obtenção de ganhos substanciais relacionados com a produtividade, comunicação, serviço externo e envolvimento em todos os níveis de uma organização.

A filosofia Seis Sigma utiliza uma metodologia estruturada, consoante o objetivo se trata da melhoria de um processo já existente ou da conceção de um novo processo. Para este último, a metodologia utilizada designa-se por *Design for Six Sigma* (DFSS), a qual segue geralmente o ciclo DMADV – *Define, Measure, Analyze, Design, Verify* – caso o objetivo seja a inovação incremental de um processo, ou o ciclo IDOV – *Identify, Design, Optimise, Validate* – caso o objetivo seja a inovação radical de um processo. Para o caso do objetivo se centrar na melhoria de um processo, a filosofia Seis Sigma utiliza uma abordagem estruturada e organizada para a gestão das atividades de melhoria de processos, associada à metodologia Seis Sigma propriamente dita, que é representada pelo ciclo DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Outra característica da filosofia Seis Sigma, que cimenta a sua organização, centra-se na existência de diferentes ferramentas e técnicas, inerentes à gestão da qualidade, a cada uma das fases do ciclo que for utilizado (Marques *et al.*, 2013). A estrutura organizacional referida está representada na figura 2.20.

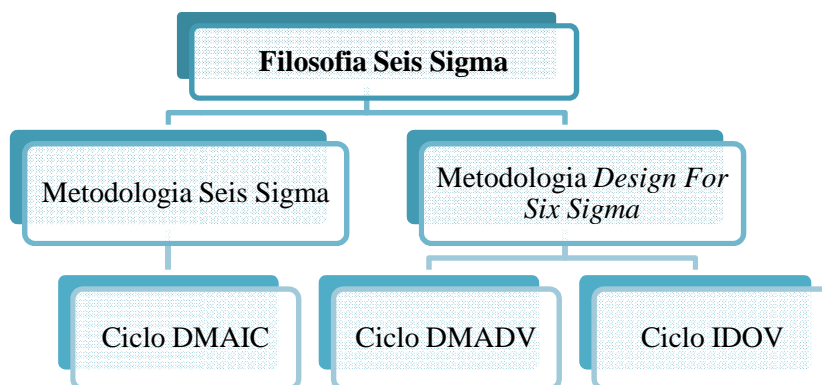


Figura 2.20: Metodologias e ciclos mais utilizados na filosofia 6 Sigma.

2.4. Ferramentas Seis Sigma

Para a execução de cada fase da metodologia Seis Sigma, seguindo o ciclo DMAIC, o qual constitui o método que será utilizado no caso de estudo, existe uma panóplia de ferramentas que são essenciais para uma implementação bem-sucedida de melhorias nos processos, estando algumas delas representadas na figura 2.21.



Figura 2.21: Ferramentas utilizáveis em cada fase do ciclo DMAIC (adaptado de Werkema, 2006).

Neste subcapítulo, dando sequência às ferramentas *Lean* já abordadas anteriormente, serão definidas algumas ferramentas Seis Sigma, relevantes para o desenvolvimento deste projeto.

2.4.1. *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers*

Segundo Taghizadegan (2006), a ferramenta SIPOC é uma técnica útil para a definição de um projeto de melhoria de um processo. Consiste num esquema, podendo ser apresentado em tabela, onde são discriminados todos os elementos relevantes de um processo, antes de ser alvo de ações de melhoria – fornecedores, *inputs*, descrição do processo, *outputs* e clientes. Assim, é possível distinguir os limites do processo e determinar possíveis fontes de recolha de dados, sendo deste modo possível a identificação de oportunidades de melhoria.

Miles (2006) refere que, para a melhoria de um processo, é essencial a compreensão de todas as partes desse mesmo processo e de como essas partes se relacionam, sendo assegurado ao mesmo tempo que todos os membros da equipa do projeto vejam o processo da mesma maneira. Werkema (2004) define a ferramenta SIPOC como um diagrama que permite atingir o objetivo de definir o principal processo envolvido no projeto e, conseqüentemente, facilitar a visualização do esboço do trabalho, não devendo, no entanto, ser detalhado.

2.4.2. *Voice of the Customer*

Werkema (2004) refere esta importante ferramenta, que consiste no conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes e suas percepções quanto aos produtos fabricados pela empresa. Esses dados podem ser provenientes de reclamações, comentários, resultados de reuniões e respostas a pesquisas, sendo usados para a identificação das Características Críticas para a Qualidade dos produtos da empresa e de suas respectivas especificações.

Segundo Pande *et al.* (2001), referidos por Werkema (2004), caso a empresa já possua implementado um sistema para avaliação da satisfação dos seus clientes, a execução da VOC não será uma tarefa difícil nem demorada. Caso esse sistema não esteja implementado e essas características sejam desconhecidas, deverá ser realizada uma análise mais cuidadosa dos recursos necessários à obtenção das informações sobre a satisfação dos clientes, para a viabilidade do desenvolvimento do projeto.

2.4.3. *Critical-To-Quality Tree*

Uma fase essencial em qualquer melhoria no âmbito do Seis Sigma consiste na determinação exata do que o cliente necessita e, posteriormente, na definição dos parâmetros que possam constituir as características dos processos a melhorar. Assim, a implementação do Seis Sigma visa a definição de

metas com base nas necessidades dos clientes e não em considerações internas (Linderman *et al.*, 2003).

Segundo Gijo e Rajo (2005), referidos por Carvalho (2010), a ferramenta *Critical-To-Quality Tree* permite transformar as necessidades do cliente, identificadas na ferramenta VOC, em métricas que representam impactos relevantes sobre os requisitos do cliente, o desempenho e a qualidade. Estas métricas, chamadas características da qualidade, serão essenciais para o desenvolvimento do projeto, pois serão sobre estas que as ações de melhoria devem atuar, de modo a se verificar uma considerável melhoria aquando da comparação dessas mesmas métricas entre o início e o final do projeto.

2.4.4. *Project Charter*

Segundo Werkema (2004), o *Project Charter* é um documento que representa um acordo entre a equipa responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa, tendo os seguintes objetivos:

- Apresentação clara do que é esperado em relação à equipa;
- Alinhamento entre a equipa e os objetivos prioritários da empresa;
- Formalização da transição do projeto das mãos do *Champion* para a equipa;
- Manter a equipa dentro do escopo definido para o projeto.

Seguindo o exemplo do *Project Charter*, ilustrado na obra de Werkema (2004), esta ferramenta deverá conter informações relativas à descrição do problema, à definição da(s) meta(s) a atingir, à avaliação histórica do problema, à estrutura da equipa de trabalho e deverá também conter um cronograma preliminar do projeto.

2.4.5. *Key Performance Indicators*

Normalmente, para a medição do desempenho da produção, as empresas costumam comparar os seus processos com os das outras empresas, baseando-se em parâmetros como a satisfação do cliente, qualidade do produto, velocidade de produção, produtividade, diversidade de produtos e flexibilidade em produzir novos produtos (Cordero *et al.*, 2005, referido por Chen, 2008). Segundo Ahmed *et al.* (2005), referido por Chen (2008), a função principal da medição de desempenho centra-se em avaliar quão bem as atividades que estão inerentes a um processo, assim como os seus respetivos *outputs*, estão a atingir objetivos específicos. Isto envolve a comparação de atuais resultados com um objetivo predeterminado e a avaliação da extensão dos eventuais desvios verificados.

Cada empresa deve escolher uma apropriada variedade de indicadores de desempenho, devendo estes indicadores ser balanceados de modo a que um indicador não avalie parâmetros idênticos a outro. O conjunto de indicadores de desempenho escolhido deve diferir caso a caso, dependendo dos objetivos delineados por cada organização (Chen, 2008). Para além dos três principais objetivos inerentes ao paradigma *Lean*, referidos por Womack e Jones (2003), que constituem três indicadores de desempenho – índices de qualidade, custos e *lead time* – qualquer outro dado quantificável relacionado com a produção pode constituir um indicador de desempenho, e.g. tempo de *setup* das máquinas, OEE, WIP, quantidade e rotação de *stock*, taxa de produção, tempos de ciclo, tempos de agregação e de não agregação de valor e tempos mortos (Melton, 2005; Alves *et al.*, 2011).

Neste âmbito, é importante referir a Lei de Little, referida por Werkema (2006) como uma equação simples, aplicável a qualquer processo, que iguala o *lead time* ao quociente entre o WIP e a taxa de saída. A análise desta lei indica que há duas formas de atuação para a redução do *lead time*, podendo ser através da redução do WIP ou do aumento da taxa de saída.

No âmbito da filosofia Seis Sigma, as métricas mais utilizadas centram-se na medição do nível sigma do processo, nas características da qualidade e na quantidade de defeitos ou de defeituosos. Para a medição do nível sigma do processo, é primeiro quantificado o número de defeitos produzidos no processo, segundo as especificações do cliente. Depois, o número obtido é convertido para DPMO e, seguidamente, para o nível sigma do processo (Linderman *et al.*, 2003).

Em suma, Werkema (2004) refere as quatro principais métricas baseadas em defeitos são:

- Defeitos Por Unidade (DPU) – representa um valor médio de defeitos por unidade de produto;
- Defeitos Por Oportunidade (DPO) – representa um valor médio de defeitos por unidade de produto, tendo em consideração o número de oportunidades de defeitos;
- Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO) – representa o mesmo que DPO, mas em 1 milhão de oportunidades de defeitos;
- Escala sigma – consiste no valor ao qual estão estabelecidos os limites de especificação de um processo, em desvios padrão, podendo ser convertido a partir do valor de DPMO.

2.4.6. Diagrama de *Ishikawa*

O diagrama de *Ishikawa*, ou diagrama de causa e efeito, trata-se de uma ferramenta esquemática que se assemelha a uma espinha de peixe, onde são listadas as causas e sub-causas de um determinado problema (Hagemeyer *et al.*, 2006).

Esta ferramenta permite obter uma visão simples e eficaz de inúmeras causas de um determinado efeito, estruturando-se fundamentalmente em 3 categorias: causas principais (espinhas), sub-causas (ramificações das espinhas) e o efeito (Carvalho, 2010, baseado em Gwiazda, 2006). Werkema (2006) refere 6 causas gerais que levam à geração do efeito: material, método, medida, meio ambiente, mão-de-obra e máquina.

Taghizadegan (2006) refere que esta ferramenta pode ser bastante útil para a procura e investigação de causas-base de um determinado problema e para a identificação de áreas onde podem existir problemas. Um exemplo de aplicação desta ferramenta está representado na figura 2.6.

2.4.7. Análise de Modos de Falhas e Efeitos

Segundo Werkema (2004), a AMFE constitui uma ferramenta que visa a identificação, hierarquização e prevenção das falhas potenciais de um produto ou de um processo. A ferramenta trata-se de uma simples tabela, onde constam o nome do componente ou equipamento ao qual podem estar associados determinadas falhas, assim como os modos de falhas e respetivos efeitos e causas. Para além disso, segundo Taghizadegan (2006), na AMFE devem constar os níveis de gravidade (G), de frequência de ocorrência (O) e de probabilidade de deteção (D) associados a cada falha, que devem variar entre 1 e 10, sendo que a multiplicação desses três valores resultam no número de risco prioritário (NPR), o qual serve para priorizar as ações de melhoria. Werkema (2004) defende quatro principais utilidades desta ferramenta:

- 1) Identificação das variáveis críticas que podem afetar a qualidade de saída de um produto;
- 2) Avaliação dos riscos associados a cada falha;
- 3) Auxílio para a elaboração de suposições sobre o tipo de relacionamento entre as variáveis de um processo;
- 4) Avaliação de prioridades para a recolha de dados e realização de estudos quantitativos para a descoberta das causas fundamentais de um problema.

Stamatis (2003) refere os critérios apresentados na tabela 2.6, para definição dos valores a atribuir a cada índice. Será certo que a atribuição de classificações a cada índice poderá variar consoante o tipo de processo/produto em análise, assim como a pessoa responsável por essa atribuição. No entanto, os critérios definidos implicarão a inexistência de uma discrepância significativa.

Tabela 2.6: Critérios de definição dos valores de cada índice da AMFE (adaptado de Stamatis, 2003).

Índice	Gravidade (G)	Ocorrência (O)	Deteção (D)
1/2	Pouco significativa – o cliente não será capaz de detetar a falha.	Muito escassa - Muito poucas ou nenhuma falhas em projeto anteriores.	Probabilidade remota de um defeito chegar ao cliente.
3/4	Pouco importante – o cliente não notará deterioração no rendimento do produto.	Escassa – Poucas falhas que apareceram em projetos anteriores.	Probabilidade baixa do defeito chegar ao cliente.
5/6	Moderada – o cliente observa certa deterioração no rendimento do produto.	Moderada - Falha que apareceu ocasionalmente em anos anteriores.	Probabilidade moderada do defeito chegar ao cliente.
7/8	Grave – grande deterioração no desempenho do produto, sem pôr em causa a segurança.	Elevada – Falha que tenha causado com frequência problemas no passado.	Probabilidade elevada do defeito chegar ao cliente.
9/10	Muito grave – o produto não cumpre os requisitos legais ou de segurança.	Muito elevada – Probabilidade elevada de a falha vir a ocorrer em grandes proporções.	Probabilidade muito elevada ou certa do defeito chegar ao cliente.

2.4.8. Diagrama de *Pareto*

O diagrama de *Pareto*, ou análise ABC, é efetuada através da agregação de tipos de produto em grupos, baseando-se em critérios, como por exemplo o seu valor monetário em vendas, o seu custo monetário de manutenção em *stock*, o seu volume de produção, etc.. Os produtos que obtenham os valores mais significativos são colocados na classe A, o qual requer maior esforço e atenção por parte da administração. Pelo contrário, os produtos que fiquem colocados na classe C serão os menos importantes, tendo como base o critério considerado, necessitando um menor nível de intervenção. Os produtos com valores intermédios são colocados na classe B. A base da análise ABC clássica consiste na regra 80-20 (ou 90-10), que significa que 80% (ou 90%) do total do valor monetário em vendas (ou de outro critério que possa ser considerado) provém de 20% (ou 10%) do total de tipos de produtos – representados na classe A. Estas percentagens podem variar (Chen *et al.*, 2008).

Segundo Chen *et al.* (2008), esta ferramenta possibilita uma abordagem bastante útil para a assistência em decisões de gestão, permitindo determinar a que produtos devem ser priorizados as intervenções de gestão e as ações de melhoria.

2.4.9. Matriz de prioridades

A matriz de prioridades permite restringir opções anteriormente formuladas àquelas que apresentem um maior índice de prioridade, o qual deve ser definido por critérios pré-estabelecidos. Esta ferramenta deve ser utilizada perante um conjunto de soluções concorrenciais que permitam resolver um problema, onde se pretenda tomar uma decisão importante relativamente à priorização de ações. A construção de uma matriz de prioridades é realizada de acordo com as seguintes fases (Pereira & Requeijo, 2012):

- 1) Identificação das alternativas a avaliar;
- 2) Definição dos critérios de avaliação e atribuição da respetiva ponderação a cada um, por parte dos responsáveis do projeto, de acordo com as necessidades por si identificadas;
- 3) Avaliação de cada alternativa, face aos critérios anteriormente estabelecidos. Devem ser construídas matrizes onde seja avaliado o peso das alternativas entre si, com base em cada um dos critérios. Como tal, o número de matrizes construídas nesta fase será igual ao número de critérios estabelecidos;
- 4) Esta etapa é baseada nos valores das matrizes anteriores, onde se avalia cada alternativa face a cada critério;
- 5) Avaliar os resultados obtidos e selecionar as soluções com maiores percentagens de importância.

2.4.10. Brainstorming

Werkema (2004) refere que o *brainstorming* constitui uma ferramenta importante para a produção de um número elevado de ideias sobre um tópico de interesse, num curto período de tempo. A mesma autora ainda refere 5 regras gerais para a condução de uma sessão de *brainstorming*:

- 1) Deve ser escolhido um líder para coordenar as atividades de grupo;
- 2) Todos os participantes do grupo devem dar a sua opinião sobre as possíveis causas do problema analisado;
- 3) Nenhuma ideia deve ser criticada;
- 4) Todas as ideias devem ser registadas num quadro;
- 5) A tendência de culpar pessoas deve ser evitada.

2.5. *Lean* e Seis Sigma

Focando-se em estratégias distintas, a convergência entre *Lean* e Seis Sigma conduz a uma abordagem que permite sistematizar a intervenção nos processos de uma organização, tendo em consideração a criticidade das atividades a intervir e a ordem de prioridade de execução de ações de melhoria (Taghizadegan, 2006). Apesar da sua distinção, os dois conceitos são análogos no sentido em que são ambos sistemas de gestão, que exigem mudanças culturais significativas nas organizações, novas abordagens à produção e ao serviço ao cliente e um elevado nível de educação e formação em todos os níveis da estrutura organizacional de uma empresa (Arnheiter & Maleyeff, 2005).

O paradigma de gestão *Lean* centra-se na eliminação de desperdício e na realização de tarefas que acrescentam valor, através de trabalho em equipa e de um fluxo produtivo organizado. Por outro lado, o Seis Sigma visa a redução da variabilidade dos processos, através da recolha exaustiva de dados. Sendo assim, pode-se afirmar que a complementaridade dos dois conceitos permite, de um modo sinérgico, a atuação na melhoria dos processos de uma organização, com base no objetivo central de redução da variabilidade (Seis Sigma) e de aumento da velocidade e da capacidade de resposta (*Lean*) (Smith, 2003).

Arnheiter e Maleyeff (2005) referem as vantagens que o paradigma *Lean* e a filosofia Seis Sigma proporcionam, quando aplicadas singularmente. O Seis Sigma, por um lado, permite a obtenção de um baixo custo associado à fabricação dos produtos, na ótica do produtor, através da redução da variabilidade dos processos. O *Lean*, por outro lado, tem impacto na perspetiva do cliente, através da especificação de valor para os clientes. Assim, a junção dos dois conceitos permite obter as vantagens de ambos, beneficiando tanto o produtor como o cliente, através da redução dos custos de produção e do aumento do valor dos seus produtos. Esta análise está representada na figura 2.22.

Segundo Devane (2004), *Lean* e Seis Sigma suprimem, em conjunto, as carências que isoladamente verificam. Por outras palavras, os pontos fortes de um são os pontos fracos do outro. A junção dos dois conceitos apresenta as seguintes vantagens:

- Proporcionam a redução do desperdício e o aumento da velocidade na execução dos processos produtivos;
- Conduzem a ganhos financeiros significativos, provenientes da redução de *stocks* e de outros materiais;
- Reduzem o nível de defeitos e a variabilidade, através do controlo estatístico de processos;
- Permitem o estabelecimento de métricas de desempenho do sistema, facilitando o controlo dos processos.

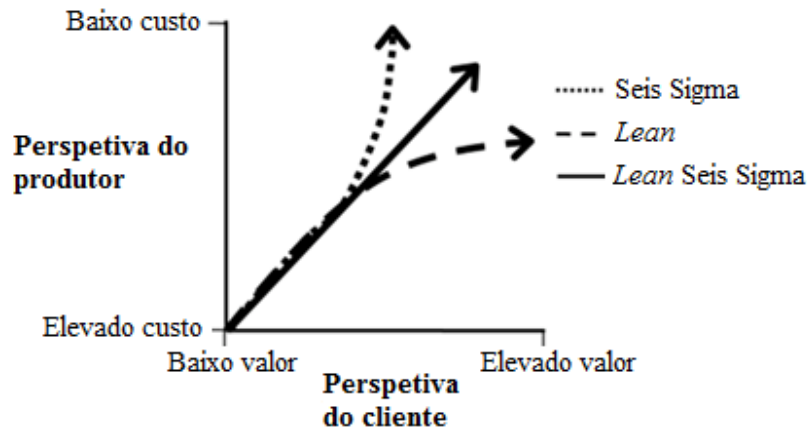


Figura 2.22: Vantagens da junção Lean Seis Sigma na perspetiva do produtor e do cliente (adaptado de Arnheiter & Maleyeff, 2005).

Segundo Werkema (2006), o paradigma *Lean* não conta com um método estruturado e profundo de solução de problemas e com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, o que pode ser complementado pelo Seis Sigma. Por outro lado, o Seis Sigma não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a redução do *lead time*, aspetos que constituem o núcleo do paradigma *Lean*.

Arnheiter e Maleyeff (2005) ainda referem outras vantagens, associadas à integração do *Lean* e do Seis Sigma, relacionadas com a otimização global do sistema produtivo, a incorporação de um processo de tomada de decisão baseado no impacto no cliente e a implementação de um regime altamente estruturado de educação e treino que abrange toda a organização.

Taghizadegan (2006) apresenta uma comparação clara entre os métodos aplicados tradicionalmente nas empresas e os métodos baseados no *Lean Seis Sigma*, resumida na tabela 2.7.

Tabela 2.7: Comparação entre métodos tradicionais e métodos baseados em *Lean Seis Sigma* (adaptado de Taghizadegan, 2006).

Problema	Métodos tradicionais	<i>Lean Seis Sigma</i>
Problema	Resolver	Prevenir
Nível de stock	Produzir em grande quantidade	Produzir só quando necessário
Pessoas	Custos para a empresa	Ativos da empresa
Gestão	Custo & Tempo	Qualidade & Tempo
Objetivo dos trabalhadores	Empresa	Cliente
Engenharia do produto	Intervenção baixa do cliente	Intervenção elevada do cliente
Foco na qualidade	Produto	Processo
Conformidade	Avaliação feita por experiência	Avaliação baseada em estatística
Prospecção da empresa	Plano a curto prazo	Plano a longo prazo
Satisfação do cliente	Índice de qualidade aceitável	Próximo dos zero defeitos
Layout	Funcional	Células / por produto
Calendarização da produção	Previsões	Encomendas
Custos de produção	Continuamente a aumentar	Estáveis e a diminuir

CAPÍTULO III – Caraterização da empresa

Este capítulo incidirá sobre a empresa em estudo e o seu respetivo estado atual. Numa primeira instância, será realizada a caraterização da empresa, incluindo uma abordagem ao tipo de produtos fabricados, às tecnologias que possui e utiliza, ao fluxo produtivo e aos mercados em que está presente. De seguida, serão descritos os projetos que têm vindo a ser implementados recentemente na empresa, no âmbito do paradigma de gestão *Lean*, com a referência dos respetivos impactos obtidos. A compreensão da estrutura e do sistema produtivo da empresa, assim como o estudo dos projetos *Lean* já implementados, permitirão a contextualização e o enquadramento do trabalho efetuado e da sua função na melhoria contínua dos processos desta organização.

3.1. Missão, visão e objetivos

A administração da empresa, na qual foi possível desenvolver este trabalho, pediu confidencialidade no que diz respeito à divulgação do seu nome, pelo que, para efeitos deste trabalho, será denominada como empresa PSF.

A empresa PSF tem sido uma referência incontornável na indústria de fixação, sendo uma unidade de produção e especialista no fabrico de peças estampadas a frio. Fundada há pouco mais de 10 anos, é atualmente um dos maiores fabricantes da Europa, na categoria dos componentes metálicos produzidos por estampagem. Uma das maiores vantagens competitivas desta empresa centra-se no fabrico das suas próprias ferramentas, conferindo-lhes total autonomia e flexibilidade no desenvolvimento de projetos específicos e adaptados às exigências dos seus clientes.

A principal missão desta organização é fornecer produtos de qualidade, competitivos e com capacidade de inovação e serviço, constituindo o principal objetivo de ser um fornecedor de referência, a nível europeu, para as peças metálicas estampadas a frio. Tem também como objetivo o fornecimento de produtos ajustados às necessidades dos clientes, a preços competitivos e nos prazos solicitados, cumprindo ou superando as expectativas dos clientes. Para atender os seus objetivos, a organização apresenta uma estrutura organizada, com diversos departamentos que possuem os seus objetivos específicos. O organigrama geral da empresa PSF está representado na figura 3.1.

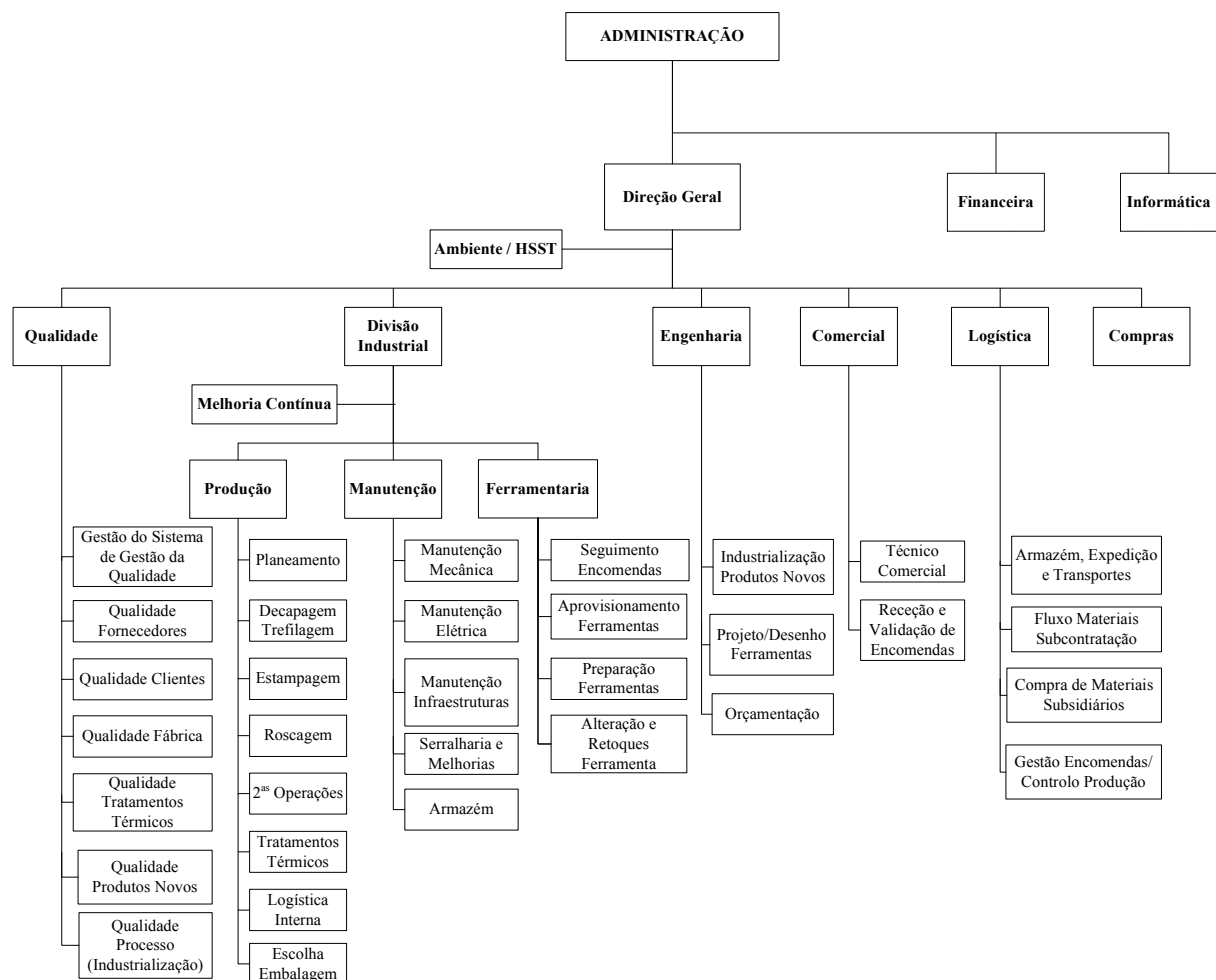


Figura 3.1: Organigrama geral da empresa PSF.

A melhoria contínua do controlo de produto a nível de fornecedores e de produção durante todo o processo produtivo é constantemente procurada. São efetuados ensaios mecânicos e químicos no controlo do produto nos laboratórios físico-químicos, existentes nas instalações da empresa.

Um dos princípios respeitados pela empresa é a implementação e a melhoria contínua da eficácia do Sistema de Gestão da Qualidade, de acordo com a norma ISO/TS 16949 (3ª Edição). A política de qualidade instaurada na empresa PSF é o principal pilar de desenvolvimento sustentável e de uma melhoria contínua em todos os processos, procurando sempre atingir a excelência.

Em suma, o plano estratégico da empresa assenta nos princípios inerentes ao *Lean* e Seis Sigma. A sua visão passa pelo aumento da competitividade, através da procura da melhoria contínua em todos os seus processos e da racionalização dos seus recursos, os quais são profundamente valorizados pela empresa, respeitando os seus fornecedores, os seus clientes e os seus trabalhadores na sua plenitude pessoal e profissional. É continuamente procurada a eliminação do desperdício, a comunicação entre os colaboradores e o incentivo à inovação e criatividade por parte de todos.

3.2. Produtos

A empresa PSF é responsável pela estampagem / deformação a frio e roscagem de peças em aço. A sua gama de produtos é bastante variável, dependendo das especificações exigidas pelos clientes, sendo centrada em sistemas de fixação, principalmente parafusos. Esta grande variabilidade de produção implica a inexistência de um sistema de produção totalmente *standard* na fábrica, sendo exigida a constante adaptação de recursos às exigências e especificações requeridas pelos clientes. Deste modo, são continuamente necessárias novas ferramentas, que permitam a fabricação de novos produtos. Esta necessidade torna o sistema de produção da organização mais complexo do que o habitual, pois verifica-se uma constante troca de ferramentas, o que implica a inexistência de um sistema produtivo normalizado e de uma maior dificuldade de organização.

As tecnologias que constituem o sistema produtivo da empresa possibilitam a produção de peças com diâmetros de 2 a 32 milímetros e com comprimento até 325 milímetros. As matérias-primas utilizadas para o fabrico dos produtos são aço, inox, latão, alumínio e cobre. Alguns exemplos de produtos fabricados na empresa estão representados na figura 3.2.



Figura 3.2: Exemplos de produtos fabricados na empresa PSF.

3.3. Mercados

O principal mercado onde a empresa PSF está presente é o da indústria automóvel, sendo 91% da sua produção destinada a esse mercado. Atualmente, a empresa conta com clientes em quase todos os países europeus e fornece as principais empresas ligadas à indústria automóvel. Os produtos fabricados estão presentes em quase todas as marcas de veículos, o que revela a abrangência de clientes para os quais a empresa fornece.

No entanto, a variedade de equipamentos e a versatilidade de produção permitem à organização a produção de uma gama praticamente infindável de produtos de fixação, com a possibilidade de aplicação ou utilização em todos os setores industriais.

3.4. Tecnologias e capacidade produtiva

A unidade de produção desta organização está equipada com os meios de produção mais modernos e avançados do setor, incluindo máquinas de estampagem de 1 a 6 matrizes. Para além das máquinas de estampagem a frio, são ativos da empresa máquinas de roscar por deformação - de pentes e de rolos - e máquinas de segundas operações – máquinas *transfer*, suíças, ponteadoras, máquinas de endireitar e cortar, máquinas de fendar, máquinas de cisalhar, máquinas de tornear, máquinas de furar, máquinas de escarear e máquinas de repassar rosca. A fábrica produz 24 horas por dia, sendo que o processo de estampagem e de roscagem apenas opera durante 16h, devido ao elevado número de máquinas e de capacidade produtiva total.

Como já foi referido, uma das vantagens competitivas desta empresa centra-se no facto de possuírem a sua própria ferramentaria, onde são desenvolvidas e fabricadas as suas próprias ferramentas, o que lhes confere uma autonomia interna distinguível.

Com todas as tecnologias referidas e com a colaboração de 162 trabalhadores, a fábrica tem a capacidade de realizar uma produção diária até 3 milhões de peças por dia, equivalendo a um total de 2000 toneladas de produção por mês.

3.5. Fluxo produtivo

A empresa integra no mesmo local praticamente todo o processo de produção, começando na receção da matéria-prima, passando pela estampagem, roscagem e tratamentos térmicos e de superfície, terminando no controlo de qualidade e embalagem. O único bem comprado pela empresa é a matéria-

prima, que é encomendada a quatro fornecedores, tratando-se de rolos de 80 metros de comprimento que podem ser de aço, latão, alumínio ou cobre. As embalagens onde são empacotados os lotes de produtos acabados, que são expedidos para os clientes, são, também, comprados a um fornecedor. Relativamente ao fluxo produtivo, é de referir o serviço de *outsourcing* contratado pela empresa, para a realização do tratamento de superfície dos produtos em via de fabrico, que são banhados em níquel e zinco. A empresa responsável por esta operação está localizada no parque industrial onde a empresa PSF se localiza, pelo que a comunicação é facilitada e os tempos de transporte e rotação de *stocks* são bastante satisfatórios.

O fluxo produtivo de cada produto difere, pois dependerá das especificações exigidas pelos clientes. No entanto, o fluxo produtivo geral está representado na figura 3.3.

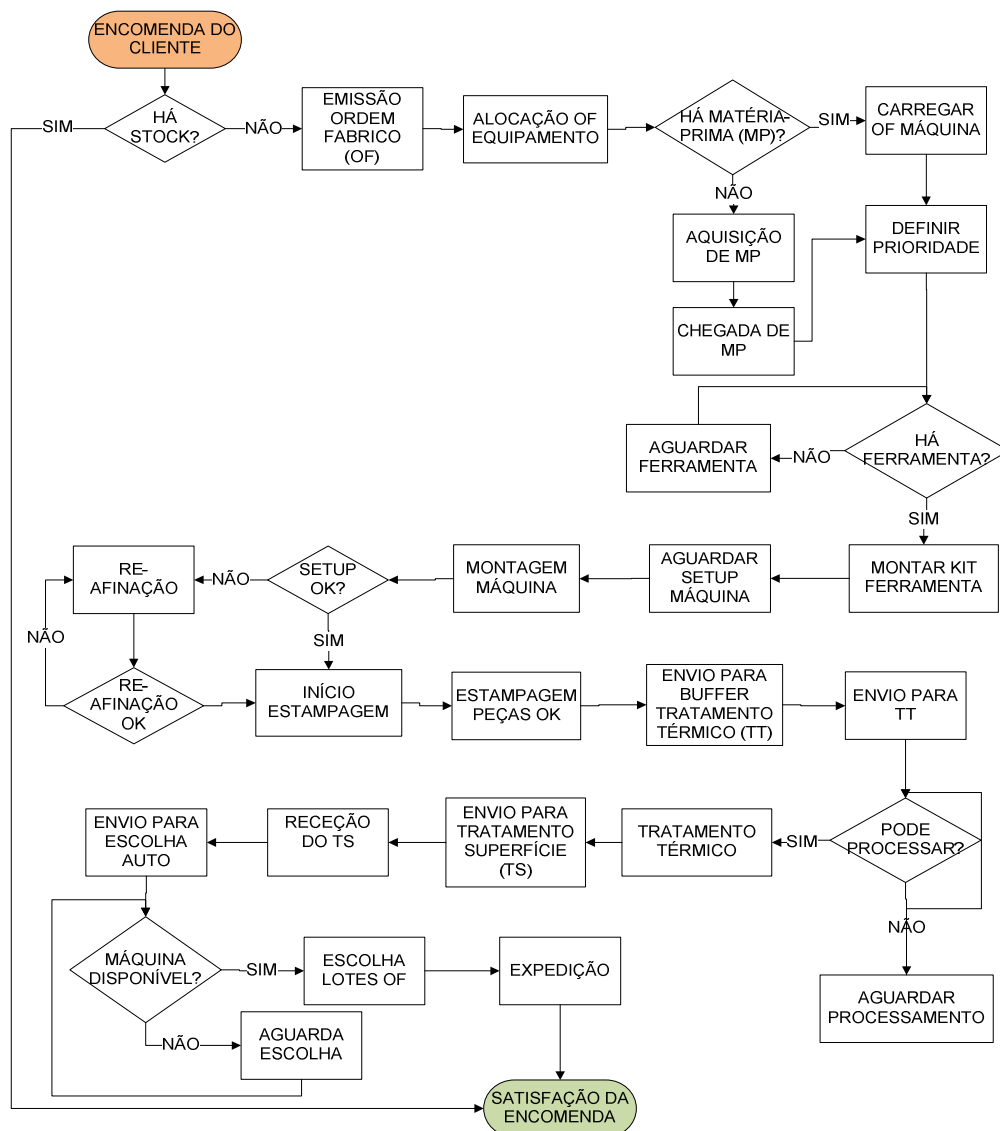


Figura 3.3: Fluxo produtivo geral na empresa PSF.

3.6. Projetos *Lean* na empresa

Recentemente, a empresa tem vindo a desenvolver e a implementar algumas metodologias e ferramentas *Lean*, com o intuito de melhorar continuamente a eficácia e a eficiência dos seus processos. Tendo em conta a inexistência de uma produção contínua *standard*, alguns dos projetos centraram-se apenas num produto cujo volume de produção é constantemente requisitado por um mesmo cliente. Neste subcapítulo, serão referenciados os projetos já desenvolvidos, com o respetivo estudo dos seus impactos.

3.6.1. 5S

A primeira ferramenta *Lean* implementada nesta organização foi a ferramenta 5S. A implementação deste conceito na empresa trouxe inúmeros benefícios e mudanças, tanto ao nível de mentalidade de todos os trabalhadores, como ao nível de gestão visual dos processos. Mais especificamente, os 5S foram implementados de forma simultânea, da seguinte forma:

➤ *Seiri* (Organização): analisou-se o equipamento de cada posto de trabalho e separou-se o necessário do desnecessário, para as atividades desenvolvidas nos respetivos postos. Para além disso, classificaram-se os equipamentos por frequência de utilização, com o objetivo de colocá-los a uma distância inversamente proporcional ao seu grau de utilização, dando-se como exemplo a situação representada na figura 3.4. Este exemplo permitiu a melhoria da vertente organizacional, já que antes os materiais eram colocados aleatoriamente em cima da mesa representada. Agora, é possível colocar os materiais arrumados e organizados conforme a sua frequência de utilização.



Figura 3.4: Resultado da aplicação da metodologia 5S – organização.

➤ *Seiton* (Arrumação): o trabalho desenvolvido nesta fase consistiu basicamente na definição de áreas específicas de arrumação para cada material, equipamento, ferramenta e outros bens, tal como está exemplificado na figura 3.5. Foi utilizado o princípio baseado na arrumação de materiais por semelhança dos mesmos, tendo também sido aplicadas etiquetas para a classificação de diferentes localizações de materiais/equipamentos.



Figura 3.5: Resultado da aplicação da metodologia 5S - arrumação de ferramentas.

➤ *Seiso* (Limpeza): com esta fase, implementou-se uma nova mentalidade de trabalho, onde a limpeza de cada posto deve ser feita e preservada. Esta limpeza deve incidir principalmente nas máquinas, pois constitui um importante fator para o desempenho funcional das mesmas e para evitar avarias e tempos de inatividade. Do mesmo modo, um posto de trabalho limpo resulta num maior nível de segurança, higiene e saúde para quem o frequenta.

➤ *Seiketsu* (Padronização): Esta fase é bastante importante para a manutenção das 3 fases referidas anteriormente. Aqui, colocaram-se avisos e instruções visíveis à distância, para evitar erros nas operações de trabalho. Delinearam-se os corredores e as áreas onde estão localizados os processos e os *stocks*, como está representado na figura 3.6, assim como as áreas onde é colocado o lixo e as peças não conformes. Para além disso, as instruções de segurança também se tornaram mais visíveis, como a localização de extintores e de avisos de saídas de emergência e de utilização de Equipamentos de Proteção Individual. Como é facilmente notável, a gestão visual constitui uma parte essencial desta fase da metodologia 5S.



Figura 3.6: Resultado da aplicação da metodologia 5S – áreas delineadas.

➤ *Shitsuke* (Disciplina): Esta metodologia não só necessitou de uma implementação organizada e eficiente, como requer também uma manutenção contínua e infundável. Têm sido encontradas algumas dificuldades nesta fase, pois para a implementação desta metodologia é necessária uma mudança drástica no comportamento das pessoas de todos os níveis da organização. Para assegurar essa mudança, são feitas auditorias semanais aos postos de trabalho com o intuito de avaliar todos os fatores relacionados com esta metodologia – são classificadas e controladas as áreas relativas à segurança, eliminação do desnecessário, organização, limpeza, padronização e respeito.

Com a aplicação dos 5S na organização, os benefícios obtidos não foram devidamente quantificados. No entanto, de acordo com alguns responsáveis da empresa, as diferenças entre o estado atual e o estado prévio à implementação da metodologia são inúmeras. De acordo com os mesmos, antes da aplicação desta ferramenta *Lean*, a deslocação pedonal pela fábrica era dificultada pela desorganização e pela desarrumação de materiais e equipamentos. Para além disso, não havia um método organizado de trabalho e era verificado um elevado desperdício relacionado com deslocações e tempo perdido na procura de equipamentos e ferramentas. Após a implementação da metodologia 5S, esses desperdícios foram minimizados e o nível de moral, ética e satisfação dos colaboradores aumentou. Da mesma importância, foi aumentado substancialmente a transparência dos processos, a eficiência dos processos, a produtividade e a eficácia organizacional. Por fim, um benefício obtido de elevada importância foi a redução da carga de trabalho dos colaboradores e a probabilidade de erros.

Para o controlo e manutenção adequada desta metodologia, associado ao “quinto S” (*Shitsuke* – Disciplina), são realizadas auditorias mensais nos postos de trabalho, onde são avaliados os parâmetros relacionados com cada uma das 5 etapas desta metodologia.

3.2.2. Overall Equipment Effectiveness

Uma ferramenta que foi implementada na organização, constituindo atualmente um papel importantíssimo no sistema produtivo da mesma, consiste na medição e monitorização da Eficácia Global de Equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness*). Trata-se de um *software* que permite a recolha automática de dados quantitativos dos equipamentos, que, conjugados, possibilitam o cálculo do indicador de desempenho relativo à eficácia dos mesmos. Esta ferramenta permitiu também melhorar o facto de que, previamente, estes dados eram recolhidos de forma manual e, consequentemente, bastante demorada. Para além disso, é possível a determinação das perdas e das causas principais para as falhas e tempos de inatividade das máquinas. O cálculo deste indicador de desempenho consiste na multiplicação das seguintes métricas:

- Disponibilidade = (Tempo programado para produção – Tempo de inatividade) / Tempo programado para produção
- Eficiência = Quantidade processada x Tempo de ciclo ideal / Tempo operacional da máquina
- Qualidade = (Quantidade processada – Quantidade de produtos defeituosos) / Quantidade processada

Como se pode verificar através do exemplo representado na figura 3.7, a análise é feita através de um gráfico representativo das três variáveis que compõem o indicador de desempenho OEE.

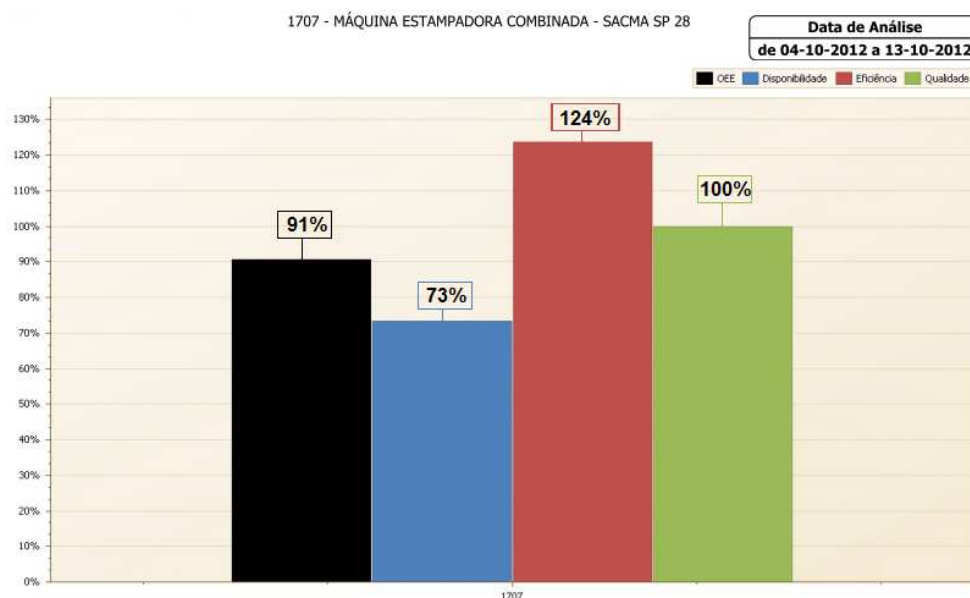


Figura 3.7: Exemplo de aplicação da ferramenta OEE numa estampadora.

Assim, é possível discriminar a origem de um eventual valor reduzido associado à eficácia global de um equipamento. Do mesmo modo que é feita esta monitorização, também é feito o controlo dos motivos associados a cada uma das 3 variáveis componentes da OEE. Mais especificamente, podem ser consultados os dados detalhados responsáveis pelos valores de disponibilidade, eficiência e qualidade associados a uma máquina. No caso da disponibilidade, é possível obter a lista de dados relativos às causas de paragem da máquina, no período de tempo desejado, estando um exemplo representado na figura 3.8. Outra utilidade bastante importante desta ferramenta é a possibilidade de consultar os dados detalhados associados ao valor global de qualidade obtido, onde é possível discriminar todos os tipos de defeitos detetados e seus respetivos pesos relativos.

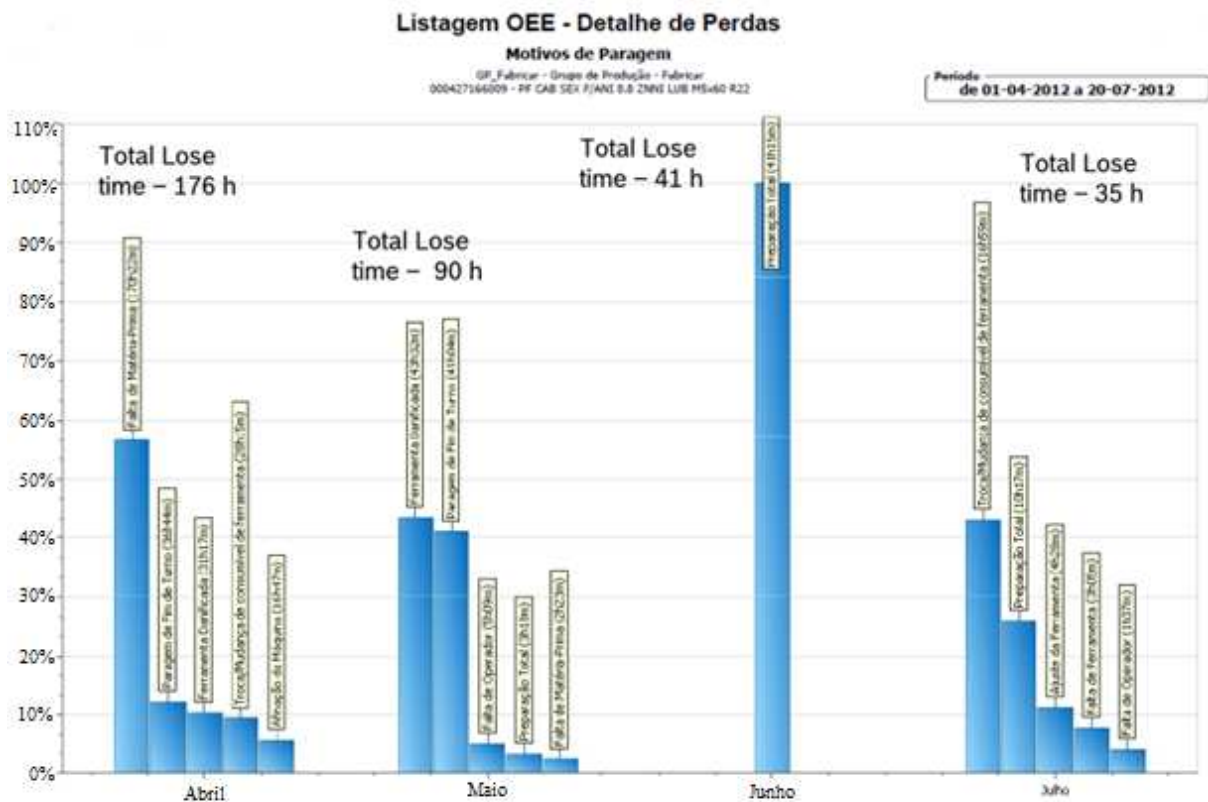


Figura 3.8: Especificação de perdas associadas à produção de um determinado produto.

A utilização desta ferramenta é essencial para o estabelecimento de objetivos de produção e para uma visão global da disponibilidade do processo, da eficiência do desempenho das máquinas e da taxa de qualidade. Para além disso, é assim possível realizar o controlo e a monitorização da produtividade dos equipamentos produtivos, analisando também a relação entre a eficácia global do equipamento e a velocidade a que ele opera. Assim, esta ferramenta *Lean* constitui um indicador de desempenho e um guia fundamental para a determinação de oportunidades de melhoria.

CAPÍTULO IV – Estudo de caso

O presente capítulo incidirá sobre o estudo de caso. Primeiramente, será feita uma revisão bibliográfica baseada no estudo de caso propriamente dito e no método utilizado (ciclo DMAIC), inerente à metodologia Seis Sigma. De seguida, é feita uma abordagem mais prática relativamente a como o método será aplicado no estudo de caso e é apresentada uma justificação da escolha do método referido na aplicação prática do presente estudo. Por fim, procede-se à aplicação prática do estudo de caso, descrevendo-se cada fase do método adotado.

4.1. Metodologia do estudo de caso

O estudo de caso representa uma estratégia de pesquisa bastante utilizada nas Ciências Sociais. Robert Yin (2009) define o estudo de caso como a estratégia mais utilizada quando se pretende conhecer o “como” e o “porquê” de uma determinada situação, quando o investigador detém pouco controlo sobre os acontecimentos reais e quando o campo de investigação se concentra num fenómeno natural dentro de um contexto real. O estudo de caso é, então, uma abordagem metodológica de investigação que permite a compreensão, a exploração e/ou a descrição de certos acontecimentos e contextos complexos. O mesmo autor refere que o estudo de caso pode ser definido com base nas características do fenómeno em estudo e com base num conjunto de características associadas ao processo de recolha de dados e às estratégias de análise dos mesmos.

Yin (2009) refere a existência de três tipos de estudos de caso: descritivo, exploratório e explicativo. No presente estudo de caso, após se seguir uma vertente descritiva no capítulo III, ao descrever-se

ferramentas e metodologias utilizadas na empresa, o presente capítulo, referente ao estudo de caso, incidirá numa vertente mais exploratória, no sentido de que será descrito e explorado um projeto proposto à empresa, assim como a implementação de melhorias que vão colmatar as necessidades definidas nesse mesmo projeto.

Os métodos de recolha de dados deste estudo de caso basear-se-ão no diário de bordo, em relatórios e na pesquisa documental. Para uma contextualização conceptual, definem-se três métodos (Yin, 2009):

- O diário de bordo é um instrumento em que são registadas notas retiradas diretamente das observações no campo. Sendo assim, trata-se de uma recolha de dados através da exclusiva observação dos processos, constituindo uma fonte importante de dados e de apoio ao acompanhamento do desenvolvimento do estudo.
- Os relatórios podem ser descritivos ou reflexivos, sendo elaborados ao longo do projeto e constituem ferramentas de recolha de dados, que podem incluir conclusões sobre esses mesmos dados.
- A pesquisa documental consiste no conjunto de documentos que estão em posse da organização, podendo ser cartas, memorandos, comunicados, agendas, planos, propostas, cronogramas, jornais internos, etc.

4.2. Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC providencia uma sequência organizada de ações que é utilizada na implementação de melhorias nos processos e na resolução de problemas. Seguindo um método estruturado como este, evita-se a precipitada criação de conclusões e é assegurada uma procura adequada de soluções alternativas para um determinado problema. Através de revisões frequentes em cada fase componente do ciclo DMAIC, os líderes organizacionais podem monitorizar e assegurar a execução apropriada de cada fase dos projetos a implementar (Schroeder *et al.*, 2008). As fases componentes do ciclo DMAIC estão representadas na figura 4.1.



Figura 4.1: Fases componentes do ciclo DMAIC.

Chakravorty (2009) descreve o ciclo DMAIC como um instrumento para a implementação do Seis Sigma, constituindo uma metodologia de melhoria dos processos. Por outro lado, McAdam e Lafferty (2004), referidos por Mast e Lokkerbol (2012), referem-se ao DMAIC como um método que visa a redução da variabilidade, sendo aplicado na prática como uma abordagem para a resolução de problemas e melhoria.

4.2.1. Definir

Esta fase inicial do ciclo DMAIC centra-se na definição do problema, assim como os objetivos, metas a atingir e benefícios de um eventual projeto a desenvolver. Para além disso, ainda nesta fase, deve-se desenvolver um plano e um mapeamento do projeto, de modo a que seja possível a identificação de desperdício (Chakravorty, 2009). Portanto, definir é o primeiro passo da metodologia Seis Sigma, onde é esperado que os líderes selecionem projetos, estabeleçam objetivos e metas e desenvolvam um planeamento do projeto e do trabalho a executar. Simultaneamente, são estimados os custos de não qualidade associados aos novos ou já existentes processos a serem analisados. Nesta fase, podem ser utilizados gráficos, entrevistas ou inquéritos, para a obtenção de dados que conduzam à verificação de possíveis oportunidades de melhoria (Goffnett, 2004). Werkema (2006) refere as seguintes atividades, que devem ser realizadas nesta fase:

- Descrever o problema do projeto e definir a meta a ser atingida;
- Avaliar o histórico do problema, o retorno económico, o impacto nos clientes e as estratégias da empresa;
- Definir os participantes da equipa e as responsabilidades de cada um, as possíveis restrições e suposições, assim como o cronograma preliminar do projeto;
- Identificar as necessidades dos principais clientes do projeto;
- Definir o principal processo envolvido no projeto.

Miles (2006) destaca a importância de, nesta fase, se utilizar a ferramenta *Project Charter* para a definição do projeto e da sua missão, o diagrama *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers* (SIPOC) para o conhecimento do processo e a ferramenta *Voice of the Customer* (VOC) para ser possível a elaboração da árvore *Critical-To-Quality* (CTQ), a qual permite discriminar as características que devem ser melhoradas no projeto.

4.2.2. Medir

A segunda fase do ciclo DMAIC consiste fundamentalmente em estabelecer métricas de desempenho atuais e conduzir análises de sistemas de medição, através da recolha de dados e de planos de amostragem (Chakravorty, 2009). Estas medições tornam-se na origem da qual partem as equipas para a execução de ações de melhoria, sendo também importante a avaliação da repetibilidade e reprodutibilidade do sistema de medição. Nesta fase, são requeridos valores de referência, análise das capacidades dos processos, objetivos de melhoria, mapeamentos de processos e gráficos dos projetos (Goffnett, 2004). Werkema (2006) sugere as seguintes atividades a desenvolver nesta fase:

- Decidir entre as alternativas de recolher novos dados ou utilizar os já existentes;
- Identificar a forma de estratificação para o problema;
- Planear a recolha de dados;
- Planear e testar os sistemas de medição;
- Recolher dados;
- Analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários;
- Estudar as variações dos problemas prioritários identificados;
- Estabelecer a meta de cada problema prioritário.

Mast e Lokkerbol (2012), com base em De Koning e Mast (2006), destacam ainda a importância de realizar a medição da atual capacidade dos processos em estudo, nesta fase do ciclo.

4.2.3. Analisar

A terceira fase deve referenciar o processo ou o produto alvo de ações de melhoria. Deve analisar-se o mapeamento de processos e determinar as causas dos problemas identificados (Chakravorty, 2009). Mais especificamente, as equipas devem identificar várias possíveis causas de defeitos ou de variações existentes, que estão a afetar o *output* do processo, fazendo uma análise e uma avaliação dos mesmos. As causas originais dos defeitos e as fontes de variação devem ser identificadas, as quais podem estar inerentes às pessoas, máquinas, equipamentos, ambiente, materiais e métodos (Goffnett, 2004). Assim como para as fases anteriores, Werkema (2006) refere a necessidade de desenvolver as seguintes atividades nesta fase:

- Analisar o processo gerador do problema;
- Analisar dados do problema prioritário e do seu processo gerador;
- Identificar, organizar e hierarquizar as causas potenciais do problema prioritário;
- Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias (determinar as causas fundamentais).

4.2.4. Melhorar

Como o nome da etapa sugere, devem encontrar-se soluções e seus respectivos custos e benefícios. Para além disso, devem implementar-se as soluções selecionadas e medir a eficácia das mesmas (Chakravorty, 2009). As equipas de trabalho, responsáveis pelo projeto, devem gerar medidas e ideias para a melhoria dos processos analisados que minimizem ou eliminem as causas identificadas nas fases anteriores do ciclo DMAIC. As soluções de melhoria devem ser escolhidas com base na probabilidade de sucesso, no tempo de execução, no impacto em recursos e, também, nos custos associados. Primeiramente, as soluções devem ser implementadas em pequena escala, sendo só completamente implementadas se demonstrarem sinais de sucesso (Goffnett, 2004). Para esta fase, Werkema (2006) refere as seguintes atividades:

- Gerar e hierarquizar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário;
- Avaliar e minimizar os riscos das soluções prioritárias;
- Testar em pequena escala as soluções selecionadas;
- Identificar e implementar melhorias ou ajustes para as soluções selecionadas;
- Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala.

4.2.5. Controlar

Segundo Chakravorty (2009), na quinta fase é implementado o controlo do novo sistema e das melhorias implementadas, assegurando que as mesmas continuam a ser praticadas. Devem ser implementados sistemas de controlo que permitam a sinalização imediata de algum processo que não verifique as especificações de controlo determinadas. Hagemeyer *et al.* (2006) ainda referem que os

valores melhorados das variáveis sob estudo devem ser registrados, de modo a que sejam implementadas práticas com o objetivo de as manter. Werkema (2006) refere as seguintes atividades inerentes a esta fase:

- Avaliar o alcance da meta em larga escala;
- Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas;
- Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos;
- Definir e implementar um plano para monitorização do desempenho do processo e do alcance da meta;
- Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo;
- Resumir o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.

Mast e Lokkerbol (2012), citando De Koning e Mast (2006), referem a necessidade de determinar continuamente a nova capacidade do processo, em comparação com aquela que foi medida na fase *Measure*, monitorizando-a e controlando-a, para que seja possível assegurar e manter as melhorias efetuadas.

4.3. Aplicação prática do método

O ciclo DMAIC foi escolhido como o método de abordagem prática ao estudo de caso, pois constitui um método organizado e sequencial que permite a identificação de problemas e respetiva resolução, visando a melhoria contínua de processos, sendo esse o principal objetivo definido para este estudo de caso. Para além disso, estando o ciclo DMAIC associado à filosofia Seis Sigma, existe uma exploração pouco consolidada relativamente à sua integração com as ferramentas *Lean*. Werkema (2006) refere o enriquecimento proveniente da integração entre o *Lean* e o Seis Sigma, visto que a maior parte das ferramentas *Lean* é aplicável nas fases *Improve* e *Control*. Assim, a integração das ferramentas *Lean* e Seis Sigma com o ciclo DMAIC viabiliza a obtenção de um método holístico de melhorias mais completo. Com base no ciclo DMAIC, podem ser utilizadas variadíssimas ferramentas *Lean* e Seis Sigma em cada uma das suas fases, visando a completude dos objetivos pretendidos a que lhes estão inerentes, como está representado na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Integração das ferramentas *Lean* e Seis Sigma no ciclo DMAIC (adaptado de: Hagemeyer *et al.*, 2006; Werkema, 2006; Carvalho, 2010).

Ferramentas	Definir	Medir	Analisar	Melhora	Controlar
5S				X	X
Análise de variância			X	X	
Análise dos <i>stakeholders</i>	X				
Análise Modal de Falhas e Efeitos		X	X	X	
<i>Andon</i>					X
Auditorias					X
<i>Brainstorming</i>	X		X	X	
Cartas de controlo	X	X	X	X	X
Ciclo <i>Plan-Do-Check-Act</i>					X
<i>Critical-To-Quality Tree</i>	X				
Configuração de <i>layouts</i>				X	
Declaração do projeto (<i>Project Charter</i>)	X				
Desenho de Experiências			X	X	
Diagrama de Afinidades			X		
Diagrama de Gantt				X	
Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito)			X		
Diagrama de Pareto		X	X	X	
Diagrama de Esparguete			X	X	
Estudo de R&R		X			
Estratificação		X	X		
Fluxograma		X	X	X	X
Gráfico de dispersão			X		
<i>Heijunka</i>					X
Histograma		X	X	X	X
<i>Jidoka</i>				X	
<i>Just-In-Time</i>				X	
<i>Kaizen</i>			X	X	
<i>Kanban</i>				X	
<i>Key Performance Indicators</i>		X			
Matriz de prioridades	X	X	X	X	
Modelo de Kano	X	X			
Modelo de regressão			X		
<i>Poka-Yoke</i>				X	X
<i>Quality Function Deployment</i>	X			X	
Simulação				X	X
<i>Single Minute Exchange of Die (SMED)</i>				X	
SIPOC	X				
Técnica dos 5 Porquês			X		
Técnicas de recolha de dados		X	X	X	X
Teste de Hipóteses			X		
<i>Time Value Analysis</i>		X			
<i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>				X	X
Trabalho padronizado					X
<i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	X	X			
Voz do Cliente	X				

Assim, a metodologia prática do estudo de caso será ancorada na estrutura do ciclo DMAIC, seguindo-se as 5 fases do método. Como tal, em primeiro lugar será definido o projeto a desenvolver e os principais pontos nos quais o mesmo se deve focar. Nesta fase (*Define*), algumas ferramentas serão essenciais para a completude dos seus objetivos, como a definição das características CTQ, com base na ferramenta VOC, e o *Project Charter*, o qual constitui a “fotografia” do projeto e engloba todas as informações importantes. A ferramenta SIPOC também é aplicada, para uma apropriada contextualização do projeto desenvolvido.

Na fase *Measure*, para além da quantificação das métricas relevantes para o projeto, já anteriormente definidas, será importante a exploração do fluxo produtivo e a descrição do mesmo. Nesse sentido, a ferramenta VSM, associada ao *Lean*, constitui uma ferramenta bastante completa para atingir esses objetivos. O VSM é uma ferramenta que possibilita obter uma visão global do fluxo produtivo, o que permite identificar mais facilmente oportunidades de melhoria. No presente estudo de caso, será a partir desta ferramenta que se “emitirão” eventos *Kaizen*, os quais estarão associados a métricas que se possam tornar oportunidades de melhoria.

Na fase *Analyze*, as ferramentas associadas ao Seis Sigma assumem uma maior preponderância, como o diagrama de *Ishikawa*, a análise de *Pareto* e a AMFE. Estas ferramentas serão importantes para a exploração dos problemas identificados e das suas causas. No caso de estudo, serão analisados singularmente os eventos *Kaizen* identificados na fase anterior, explorando-se as causas das métricas associadas. A ferramenta matriz de prioridades também será útil para a priorização das ações mais importantes.

Na fase *Improve*, as ferramentas *Lean* constituem uma enorme relevância, já que é nesta fase que a maior parte das ferramentas deste paradigma se inserem. Mais uma vez, esta fase será desenvolvida para cada evento *Kaizen*, propondo-se e implementando-se ações de melhoria para a resolução dos problemas identificados nos eventos *Kaizen* analisados na fase anterior. As ferramentas utilizadas serão o SMED, o diagrama de esparguete, *Kanban*, configuração de *layouts* e *brainstorming*.

A fase *Control* será dificilmente acompanhada, visto que é uma fase à qual está associada uma duração de tempo bastante elevada. As auditorias, reuniões, formações e acompanhamentos tomam um papel bastante importante nesta fase. No presente estudo de caso, dada a impossibilidade de acompanhamento, serão planeadas as tarefas a desempenhar no futuro, através de uma apropriada calendarização e de um diagrama.

A aplicação prática do estudo de caso estará dividida em 5 subcapítulos, cada um correspondente a cada fase do ciclo DMAIC. Cada fase abordada terá como objetivo a concretização do que é proposto na revisão da literatura do método referido. Perante os objetivos do projeto, definidos na fase *Define*,

será adotada como estratégia a implementação, em pequena escala, de melhorias em determinados focos do fluxo produtivo de um produto específico, com o intuito de atingir as metas delineadas inicialmente. Para isso, serão aplicadas as ferramentas *Lean Seis Sigma* representadas na figura 4.2, próprias para os objetivos delineados de cada fase desta metodologia.

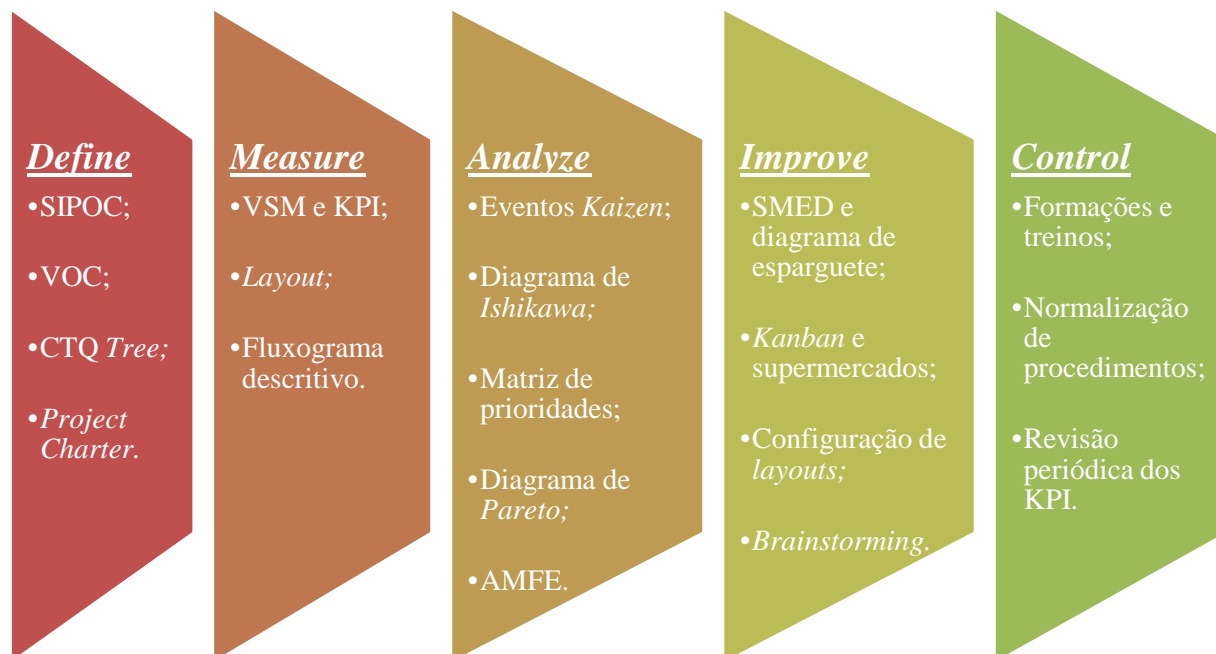


Figura 4.2: Ferramentas *Lean Seis Sigma* utilizadas no estudo de caso em cada fase do ciclo DMAIC.

O facto de este estudo de caso ser realizado em pequena escala, incidente nos processos associados a um produto específico, deve-se a duas principais razões: à necessidade de melhorar parâmetros associados à fabricação desse mesmo produto e à necessidade de realizar uma avaliação dos ganhos provenientes das melhorias implementadas em pequena escala, para se proceder a uma análise dos benefícios que podem advir de uma extrapolação dessas mesmas melhorias para uma grande escala. Para argumentação desta última razão, Yin (2009) refere que os estudos de caso são como experiências, na medida em que são generalizáveis para proposições teóricas e não para populações ou universos. Para este autor, ao realizar um estudo de caso, o objetivo será expandir ou generalizar teorias e não enumerar frequências.

4.3.1. Definir

A primeira etapa a desempenhar na realização deste estudo de caso é a clara definição do esboço do projeto, assim como a delineação das metas a atingir. A identificação de uma oportunidade de melhoria requer uma considerável sensibilidade e conhecimento relativamente aos processos

desempenhados na empresa, sendo que assim haverá uma maior facilidade em localizar resultados indesejáveis ou problemas frequentes, cuja solução poderá levar a uma melhoria contínua geral e a um maior retorno económico. Os tipos de problemas podem ser variados, sendo a análise da sua importância bastante importante para priorizar atuações de melhoria. Outro caminho que poderá levar à definição de um eventual projeto passará por requisitos dos clientes, cujas expectativas não estão a ser totalmente cumpridas e requerem melhorias em determinados parâmetros de um processo, para aumento da sua satisfação.

No presente estudo de caso serão abordados os processos associados a um produto específico (será denominado por parafuso MCS) fabricado na empresa PSF, cuja produção é *standard* mas não contínua. O projeto foi proposto pelo cliente deste produto, que sentiu necessidade de melhorar alguns parâmetros dos processos associados à fabricação deste produto. Sendo assim, neste caso, a definição do projeto foi realizada pelo cliente final, o qual é bastante importante para a empresa PSF e ao qual é associado uma percentagem de vendas significativa (o produto em questão é o segundo mais fabricado pela empresa). Deste modo, este projeto tornou-se automaticamente prioritário e patrocinado pela administração de ambas as empresas (tanto da empresa PSF como do cliente). O fluxo produtivo deste produto coincide com o fluxo produtivo geral da fábrica, descrito no subcapítulo 3.5., estando também representado na figura 4.3, a qual representa a ferramenta SIPOC adaptada a este produto.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Departamento de vendas	Pedido do cliente	Receção do pedido ↓	Embalagem de parafusos MCS	Expedição
<i>Stock</i> de bobines	Bobine	Decapagem da bobine ↓		Consumidor final
Ferramentaria	Ferramenta para a prensa	Trefilagem e Estampagem ↓		
Fornecedor de têmpera e revenido	Têmpera e revenido	Roscagem ↓		
Fábrica responsável pelo tratamento de superfície (<i>outsourcing</i>)	Revestimento de zinco e níquel	Tratamento térmico ↓ Tratamento de superfície (subcontratação) ↓		
Fornecedor de embalagens	Embalagens	Controlo de qualidade automático e embalagem		

Figura 4.3: Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers.

As necessidades e expectativas do cliente deste produto foram estabelecidas, as quais serviram como base para delinear a meta do projeto. Mais especificamente, o cliente requereu à administração da empresa PSF a melhoria de alguns parâmetros associados à fabricação deste produto, os quais estão representados na figura 4.4, a qual representa a ferramenta VOC deste projeto.

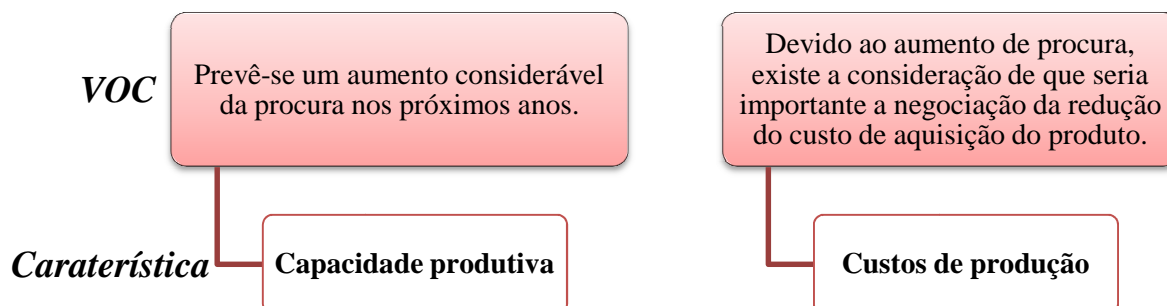


Figura 4.4: *Voice Of the Customer*.

Partindo dos requisitos de melhoria percebidos pelo cliente, é possível definir as caraterísticas críticas da qualidade, representadas na ferramenta CTQ *Tree* na figura 4.5. São a estas caraterísticas que se associam as métricas que devem ser acompanhadas ao longo do projeto, visando melhorá-las.

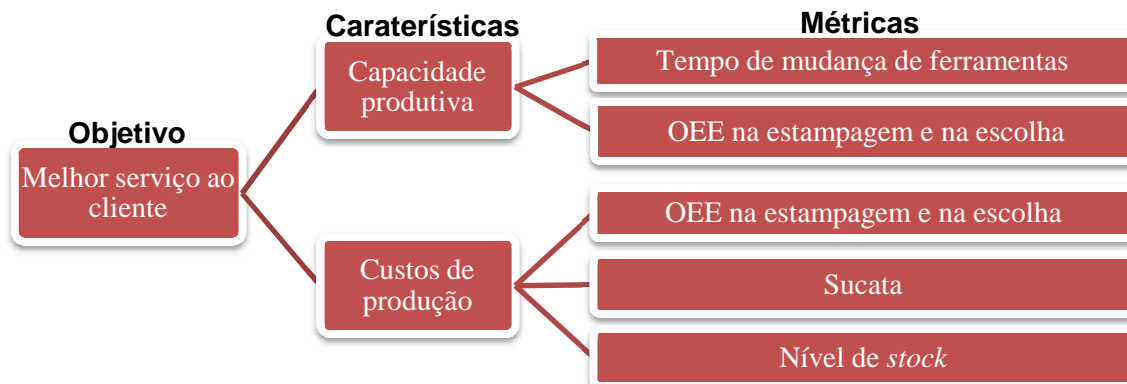


Figura 4.5: *Critical-To-Quality Tree*.

Como se pode concluir pela figura 4.5, foi considerado que as caraterísticas, que podem ser melhoradas e que têm influência direta sobre a capacidade produtiva, consistem no tempo de mudança de ferramentas e no valor de OEE das operações, visto que esta métrica tem inerente o valor da disponibilidade das máquinas e da sua eficiência de produção. O aumento da capacidade produtiva da empresa será importante para aumentar a capacidade de absorção de mais encomendas, previstas para os próximos anos. Por outro lado, o nível de sucata, o nível de *stock* e o valor de OEE associados aos processos de estampagem e de escolha têm influência direta sobre os custos de produção da empresa. A influência do nível de OEE sobre os custos de produção está principalmente relacionada com o facto

de este indicador ter como uma das suas bases a taxa de qualidade produzida. Com a melhoria destas 4 características, serão obtidas melhorias nos parâmetros requisitados pelo cliente.

É importante referir que o tempo de mudança de ferramentas das máquinas tem uma influência direta sobre a capacidade produtiva das máquinas, pois esse tempo implica a paragem das máquinas e consequente paragem de produção. Como tal, quanto menor o tempo de mudança de ferramentas, menor será o tempo de paragem de produção e maior será a produção diária proporcionada pelas máquinas. Este parâmetro também tem influência nos custos de produção, pois quanto menor for o tempo de mudança de ferramentas, menos tempo será necessário para produzir uma peça e, consequentemente, menos custos de produção estarão associados à produção da mesma. No entanto, a relação considerada no estabelecimento destas características tiveram em conta uma associação mais direta e quantificável, já que existe a distinção, por parte do cliente, de melhorias desejadas nos valores associados à capacidade de produção e aos custos de produção a que lhe estão inerentes.

Com as características da qualidade definidas, a Declaração do Projeto pode ser elaborada (figura 4.6), com base no que se pretende atingir com este projeto.

Nome do projeto			
Melhoria da eficácia e eficiência dos processos associados à fabricação de MCS			
Data de término do projeto		Dezembro de 2013	
Missão do projeto:			
Melhoria global de vários parâmetros associados à fabricação do produto MCS, visando a melhoria da eficácia e eficiência dos processos praticados, através da implementação de ferramentas e metodologias <i>Lean</i> Seis Sigma.			
Âmbito do projeto:			
Pretende-se satisfazer os requisitos de melhoria do cliente, relativamente aos custos de produção e à capacidade produtiva do produto, de modo a atender a previsão de aumento da procura.			
Descrição do problema:			
O cliente deseja melhorar os parâmetros do processo de fabricação do produto MCS, com o intuito de reduzir os custos de produção associados e, conseqüentemente, o seu custo de aquisição. Com isto, pretende-se também diminuir o tempo de entrega do produto, a partir do momento em que é encomendado. Deste modo, o projeto resume-se a melhorar o <i>lead time</i> do produto, assim como a taxa de qualidade da sua produção.			
Definição da meta:			
Propõem-se as seguintes metas a ser atingidas até Setembro de 2013:			
<ul style="list-style-type: none">• Redução do tempo de mudança de ferramentas em 20%;• Redução do nível de <i>stock</i> em 10%;• Redução do nível total de sucata em 0,5%;• Aumento da OEE em 5% nos processos de estampagem e de escolha, separadamente.			
Histórico dos problemas:			
<ul style="list-style-type: none">• Histórico do tempo de mudança de ferramentas da estampagem, do nível de <i>stock</i>, do nível total de sucata na escolha e do nível de OEE da estampagem e da escolha – Anexo A;			
Restrições e suposições:			
Impossibilidade de acompanhamento de todas as fases do ciclo DMAIC (mais especificamente a fase <i>Control</i>), devido ao curto espaço temporal do projeto.			
Implementações serão feitas em pequena escala e num só produto específico, pelo que as melhorias obtidas não envolverão os processos globais praticados pela empresa. A extrapolação das melhorias implementadas deverá ser feita no futuro.			
Equipa do projeto:			
Champion:	• Diretor Geral	Black Belt:	• 2 técnicos de melhoria contínua
Master Black Belt:	• Diretor de Produção	Elemento pivot:	• João Domingues
Cronograma preliminar:			
Proposta de datas de conclusão de cada fase:			
<i>Define</i> – 01/02/2013; <i>Measure</i> – 15/03/2013; <i>Analyze</i> – 30/04/2013; <i>Improve</i> – 31/07/2013; <i>Control</i> – 31/12/2013			

Figura 4.6: *Project Charter*.

4.3.2 Medir

Nesta fase do ciclo DMAIC, é necessária a quantificação das métricas identificadas na fase anterior, assim como o estudo detalhado do fluxo produtivo do produto MCS. Para isso, o VSM constitui uma ferramenta útil, a qual reúne todas as informações necessárias para a realização das tarefas a cumprir nesta etapa da metodologia. O *layout* da fábrica também constitui uma base importante para a compreensão do fluxo produtivo do produto, com a indicação das movimentações realizadas pelo mesmo. Nesse sentido, o *layout* da fábrica, assim como o fluxo produtivo do produto MCS está representado na figura 4.7.

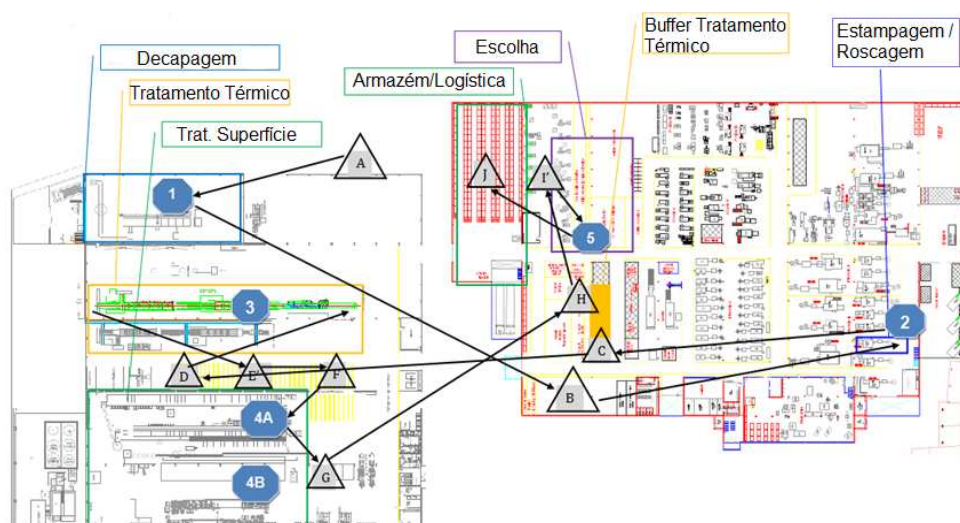


Figura 4.7: *Layout* da fábrica com o respetivo fluxo produtivo do produto MCS.

Apesar de já ter sido abordado o fluxo produtivo geral na fábrica no capítulo III, é importante detalhar o fluxo produtivo deste produto e observar o caminho que o mesmo percorre na fábrica, desde a matéria-prima até à embalagem do produto final. No entanto, o fluxo produtivo será descrito com detalhe após a apresentação do VSM do produto. Na figura 4.7 é possível verificar o caminho percorrido pelo produto, estando os processos assinalados com números e com as respetivas áreas delineadas. Os *stocks* estão também representados por triângulos, associados a letras diferentes.

Está representado na figura 4.8 o VSM, onde estão também representados todos os KPIs definidos na fase *Define* e outros que possam ser relevantes para o âmbito do projeto. Teoricamente, muitos autores consideram que existe uma falta de fiabilidade relativamente aos dados existentes nas organizações, havendo por isso uma necessidade de se verificar essa mesma fiabilidade. Porém, a empresa PSF possui um sistema informático que visa a atualização desses mesmos dados, tendo sido considerada a sua obtenção fiável e viável e tendo sido essa a fonte de todos os dados representados no VSM. Os dados baseiam-se em médias do ano de 2012 (apresentados no anexo A), com exceção dos tempos de mudança de ferramentas, que são valores cronometrados.

VSM – folha A3

Para melhor percepção do fluxo produtivo representado no VSM, é conveniente a descrição faseada do mesmo:

1) Fornecimento: A matéria-prima utilizada na fabricação deste produto é comprada a somente um fornecedor, tratando-se de bobines de 80 metros de comprimento de aço. O *lead time* de entrega da matéria-prima, desde a colocação da sua encomenda, é de 8 semanas, sendo, no entanto, a frequência de entrega geralmente de 3 em 3 meses. As bobines são guardadas no exterior da fábrica, num parque próprio para esse fim.

2) Fabricação: Relativamente ao processo de fabrico, uma bobine de matéria-prima é previamente alvo de um tratamento de decapagem, para remoção de impurezas inorgânicas e de oxidações. Depois, a bobine é colocada em *stock* e, posteriormente, levada para um segundo posto. Aqui, sofre um processo de trefilagem para reduzir a secção transversal da matéria-prima, o que resulta num aumento no comprimento do material. Depois da trefilagem, o material é continuamente cortado, de forma autónoma, e introduzido na máquina de estampagem, onde a peça sofre uma deformação plástica em duas fases. De seguida, a peça é alvo de um processo de roscagem, onde sofre um processo de deformação por pentes. Cada bobine permite a produção de cerca de 200 mil parafusos.

3) *Buffer* para tratamento térmico: a peça é enviada para um *buffer* intermédio de saída para o tratamento térmico. Este *buffer* é alimentado pela produção e esvaziado pela equipa responsável pelos tratamentos térmicos.

4) Tratamento térmico: nesta fase, a peça é introduzida em fornos de têmpera e revenido, com capacidade de processar, respetivamente, 1000 kg/h e 2000 kg/h. A têmpera é um dos processos utilizados no tratamento térmico de metais para aumentar a dureza e resistência dos mesmos, através de um elevado aquecimento e posterior rápido arrefecimento. O revenido é um tratamento térmico utilizado para corrigir falhas decorrentes da têmpera, sendo aplicado posterior a ela e que permite corrigir certas tendências provocadas pela têmpera, que torna o aço excessivamente rígido e frágil e cria tensões internas no material.

5) Armazenamento intermédio: o produto é colocado num *buffer* intermédio, não estando ainda, no entanto, na sua fase final. Este *buffer* tem como função o abastecimento da empresa responsável pelo tratamento de superfície, a qual está sob regime de subcontratação.

6) Tratamento de superfície: nesta fase, o produto em via de fabrico é expedido para a empresa responsável pelo tratamento de zinco e níquel do produto.

7) Controlo de qualidade e embalagem: O produto regressa para um *buffer* na fábrica, sendo enviado posteriormente para o controlo de qualidade. Aqui, as peças são verificadas unitariamente,

sendo analisadas todas as medidas relevantes para os critérios e especificações exigidas pelos clientes. O controlo é feito de forma automatizada, sendo necessário apenas introduzir no *software* as especificações estabelecidas. As peças que verificarem uma medida fora do intervalo de especificações serão recolocadas no *input* da máquina, pois é possível a ocorrência de situações de rejeitar produtos conformes. Esse tipo de erros deve-se à posição deficiente do produto, quando este é analisado pela máquina, resultando num elevado índice de retrabalho (na ordem dos 30%). Os produtos conformes são colocados automaticamente em embalagens, as quais são posicionadas previamente nas máquinas para esse efeito.

8) Armazenamento final e expedição: o produto final é colocado em armazém, pronto para ser expedido para o cliente final. Os lotes são constituídos por 48.000 parafusos, sendo as encomendas entregues normalmente 2 vezes por semana e variando o número de lotes encomendados. Este *stock* é controlado informaticamente, seguindo-se os princípios de um supermercado, onde estão estabelecidos níveis mínimo e máximo de *stock*, fazendo com que o processo de escolha abasteça este supermercado consoante a quantidade de *stock* existente do produto.

O fluxo produtivo de um parafuso, desde a decapagem da matéria-prima até ao seu armazenamento final demora em média 1,54 segundos, desprezando eventuais tempos de transporte e de espera. Assumindo que o fluxo produtivo estaria dissociado de desperdícios e sendo o lote de entrega ao cliente constituído por 48.000 parafusos, o tempo total para a produção de um lote de produtos seria de, teoricamente, cerca de 6 horas e 8 minutos, visto que o ritmo de produção será dependente do maior tempo de ciclo (neste caso, será o tempo de ciclo da escolha e embalagem, que é de 0,46 segundos por peça). No entanto, em termos práticos, tendo em consideração fatores como a disponibilidade das máquinas, a eficiência de desempenho e a percentagem de retrabalho e de produção conforme, a produção de um lote de 48.000 parafusos demora aproximadamente 8 horas e 47 minutos.

É também de referir o *takt time* do produto, calculado com base na procura anual do mesmo (12 milhões de parafusos), que resultou na necessidade de fabricar um produto em cada 1,20 segundos, valor que seria facilmente cumprido caso a produção deste produto fosse contínua. No entanto, como o *mix* de produtos da empresa é elevado e verifica-se uma frequente mudança de produtos nas ordens de fabrico, é necessário um planeamento de produção bastante rigoroso.

Como se trata de um produto de pequenas dimensões e com tempo de ciclo muito reduzido, existe a necessidade de se realizar a produção do mesmo em lotes de tamanho considerável, sendo o lote interno definido em 20.000 peças. Devido ao facto de a produção ter que ser feita com um lote interno elevado, verifica-se a necessidade de existirem *stocks* de produtos acabados e em vias de fabrico, de modo a que se evitem ruturas e atrasos nas encomendas por consequência de paragens de produção.

Outra causa que resulta na necessidade de existirem *stocks* é o facto de o processo de escolha ser realizado em 3 turnos de 8h por dia. Deste modo, para a satisfação das encomendas do cliente, a empresa faz uso dos seus *stocks* para “adiantar” trabalho e fazer com que o *lead time* não seja inferior ao *takt time*. Este fator trata-se de um dos principais pontos a melhorar e sobre o qual incidiu o projeto estudado neste trabalho, verificando-se a necessidade de reduzir o *lead time* e de definir as quantidades de *stock* necessárias em alguns *buffers* cruciais. A redução do *lead time* torna também possível a redução do nível dos *stocks* intermediários existentes.

Por outro lado, outra métrica importante para o âmbito deste projeto centra-se no nível de sucata registado. Tendo sempre em consideração os requisitos do cliente, o nível de sucata é proporcional aos custos de produção, sendo por isso obviamente indesejável. Como tal, é importante analisar as causas de não conformidade dos produtos fabricados, sendo necessário primeiramente a medição da percentagem de produtos não conformes fabricados. Nesta fase do ciclo DMAIC, pretende-se quantificar o nível sigma do processo, o qual tem como base o valor de DPMO identificado no controlo da qualidade, sendo, neste caso, esse controlo feito no processo de escolha. Tendo em conta que todos estes dados são informatizados na empresa, a sua obtenção é fácil e considerada viável, pelo que a sucata obtida no processo de escolha no ano de 2012 foi, em média, de cerca de 2,36%, ou 23.600 DPMO (anexo A). Com base neste valor de DPMO, conclui-se que o nível sigma associada a este processo é de 3,47.

Em suma, foram quantificados os parâmetros representados na tabela 4.2, os quais foram alvos de propostas e ações de melhoria.

Tabela 4.2: Métricas relevantes no âmbito do projeto a desenvolver.

	Decapagem	Estampagem	Escolha
Tempo de mudança de ferramentas (min.)	-	234	-
Stock (após) (peças)	1.000.000	-	-
Sucata (%) / (Nível sigma)	-	-	2,36 / (3,47)
OEE (%)	-	67	69,8

4.3.3 Analisar

Como se pode verificar na figura 4.8, onde está representado o VSM do fluxo produtivo do produto em estudo, foram lançados alguns eventos *Kaizen* ao longo desse mesmo fluxo, i.e. foram assinaladas algumas oportunidades de melhoria baseadas nos KPIs medidos. Serão sob estes eventos *Kaizen* que incidirão ações de melhoria, com o intuito de melhorar os valores obtidos e de atingir os objetivos

propostos para este projeto. Nesta fase do ciclo DMAIC é importante analisar e explorar cada fonte de problema ou variação detetado, realizando uma estimativa de qual o impacto que pode ser causado através da execução de ações de melhoria sobre esses problemas. Nesse sentido, com base nos eventos *Kaizen* representados no VSM já apresentado, os mesmos serão discutidos singularmente neste subcapítulo.

❖ Evento *Kaizen* nº1: Tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem elevado

Uma particularidade associada à empresa PSF é a necessidade de realizar frequentes mudanças de ferramentas nas suas máquinas de estampagem e de escolha, devido ao elevadíssimo *mix* de produtos que fabrica. Por isso, é de extrema importância a capacidade de efetuar tais mudanças de ferramentas na maior velocidade possível, de modo a que os *lead times* dos produtos não sejam significativamente influenciados. Para além disso, é importante que se verifiquem altos níveis de agilidade neste sistema produtivo, visando a elevada capacidade de resposta aos pedidos colocados pelos clientes. Com base nessa narrativa, antes de qualquer ação de melhoria, o tempo de mudança de ferramentas (para a referência do produto MCS) registado na máquina de estampagem foi de aproximadamente 4 horas, pelo que a redução desse tempo constitui uma oportunidade de melhoria, a qual pode ser obtida através da aplicação da ferramenta SMED. Para a análise das causas de demoras neste processo, foi elaborado um diagrama de *Ishikawa*, representado na figura 4.9, onde se podem verificar as várias perdas registadas que implicam o registo de um maior tempo de mudança de ferramentas na máquina referida. Estas causas podem ser obtidas através da observação direta do processo, sendo a utilização de vídeos bastante útil para a possibilidade de rever várias vezes os procedimentos adotados e os problemas que se sucederam.

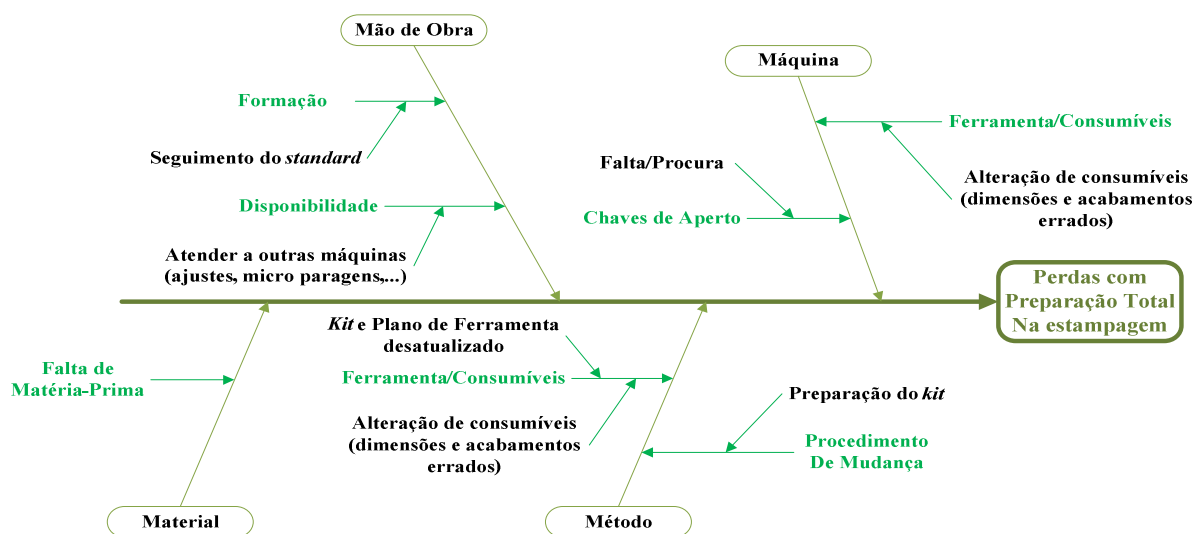


Figura 4.9: Diagrama de *Ishikawa* para as perdas com a mudança de ferramentas na estampagem.

Como a figura 4.9 sugere, verificaram-se alguns fatores que contribuíam para a existência de perdas associadas ao tempo de preparação da máquina de estampagem. Para a redução de ocorrência dos fatores referidos, ou mesmo para a sua eliminação, a aplicação da ferramenta SMED será um meio útil e eficaz.

❖ Evento *Kaizen* nº2: Nível alto de *stock* e ocorrência de paragens de produção involuntárias

Constatou-se uma dessincronização no abastecimento de matérias-primas na máquina de estampagem, associada à ocorrência de paragens de funcionamento da mesma máquina. Esta constatação foi obtida através da análise da ferramenta OEE, disponível no sistema informático da empresa, onde é possível determinar as causas de perdas relacionadas com a disponibilidade da máquina. Assim, foi elaborada a tabela 4.3, onde estão discriminadas as causas que levaram à paragem da máquina de estampagem, ao longo do ano de 2012, assim como os respetivos tempos de paragem.

Tabela 4.3: Detalhe de perdas relacionadas com paragens de produção da máquina de estampagem (em horas).

Mês	Falta de matéria- prima	Paragem de fim de turno	Preparação total	Falta de ferramenta	Troca de consumível	Ferramenta danificada	Outros (% < 5%)
Jan-12	52,77	-	-	-	-	-	-
Fev-12	-	-	-	-	-	-	-
Mar-12	-	34,33	7,83	-	-	-	0,57
Abr-12	170,37	36,73	0,95	-	28,25	31,28	19,57
Mai-12	2,38	41,07	3,3	0,4	2,23	43,53	6,25
Jun-12	-	-	41,25	-	-	-	-
Jul-12	1,15	-	19,45	13,33	28,67	-	19,95
Ago-12	-	-	-	1,8	5,3	-	4,35
Set-12	-	-	22,9	-	6,4	-	7,83
Out-12	-	-	-	-	-	-	-
Nov-12	1,25	-	0,75	63,78	9,2	-	40,85
Dez-12	-	-	-	3,45	0,02	-	0,83
TOTAL	227,92	112,13	96,43	82,77	80,07	74,82	100,2
% Relativa	29,5	14,51	12,48	10,71	10,36	9,68	12,97

Verifica-se que a causa maioritária relacionada com as paragens da máquina é devida à falta de matéria-prima, com uma percentagem relativa de ocorrência de cerca de 29,5%, sendo sobre essa medida que as ações de melhoria serão aplicadas. Ao mesmo tempo, foi registado um nível de *stock* elevado e não balanceado, tendo em conta a existência de vários tipos de matérias-primas, de acordo com a sua composição.

Para a satisfação das metas delineadas para este projeto, nomeadamente a redução do *lead time*, é importante adotar medidas para a melhoria da sincronização na produção e para evitar as paragens de linha, que apenas acarretam custos e nenhum benefício. A principal causa para a ocorrência dos dois problemas referidos está adjacente à dificuldade de comunicação entre o operário responsável pelo abastecimento das máquinas de estampagem, os operários responsáveis pela estampagem e os operários responsáveis pela decapagem. Tendo em conta que o *buffer* de matéria-prima decapada se encontra num pavilhão diferente daquele onde se processa a estampagem, a comunicação entre estes dois postos e o abastecimento eram irregulares e dessincronizados. As falhas associadas a esta secção do fluxo produtivo, assim como os seus efeitos e as suas causas, estão representados na figura 4.10, onde consta a aplicação da ferramenta Análise Modal de Falhas e Efeitos. As classificações atribuídas a cada falha foram dadas intuitivamente e em grupo, com base nos critérios apresentados na revisão bibliográfica. Com base nesses problemas, a implementação de um sistema orientado por dois cartões *Kanban* entre estes dois postos poderá constituir uma solução viável para a resolução dos problemas aqui encontrados.

<u>AMFE</u>					Produto <input type="checkbox"/>				
Falhas possíveis					Processo <input checked="" type="checkbox"/>				
Processo	Função	Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)	Controlo atual	G	O	D	NPR
Abastecimento de bobines na máquina de estampagem	Matéria - prima	Atraso no abastecimento do processo de estampagem	Paragem de produção	Falhas de comunicação	Inexistente	8	5	10	400
		Nível elevado de <i>stock</i>	Custos de produção mais elevados	Falta de controlo do nível de <i>stock</i> existente	Inexistente	5	5	10	250

Figura 4.10: Análise de Modos de Falhas e Efeitos do abastecimento de bobines na estampagem.

É de referir que o VSM, sendo uma ferramenta que nos dá uma “fotografia” do fluxo produtivo num determinado momento, não foi útil na identificação do problema relativo à ocorrência de faltas de matéria-prima na estampagem, devido à sua falta de dinamismo. Para o diagnóstico desse problema, foi necessário recorrer à experiência e à observação direta do processo por parte dos responsáveis pela secção da produção, tendo sido também uma causa identificada associada às perdas na preparação da máquina de estampagem, representada na figura 4.9. Portanto, uma importante ilação teórica que pode

ser concluída através desta situação é o facto de ser essencial a utilização de outras ferramentas e métodos para a medição e designação de problemas, complementando o VSM. Neste caso concreto, a utilização singular do VSM para o diagnóstico de problemas até poderia induzir em erro as conclusões retiradas, visto que foram registados níveis altos de *stock* entre o processo de decapagem e de estampagem, o que contraria o problema relativo à ocorrência de falta de matéria-prima.

❖ Evento *Kaizen* nº3: Esforço humano elevado (elevada distância percorrida)

Apesar de não ser quantificável no VSM, constatou-se que a disposição das máquinas de escolha era feita em linha, com 2 operadores responsáveis pela operação em 10 máquinas, (figura 4.11). Para além de esta disposição constituir um esforço humano considerável para cada operador, devido às distâncias percorridas diariamente, a velocidade de operação de cada um também seria afetada. Este fator constitui uma causa direta para o valor da disponibilidade da máquina e, consequentemente, o valor de OEE, visto que aumenta o nível de desperdício associado a movimento desnecessário.

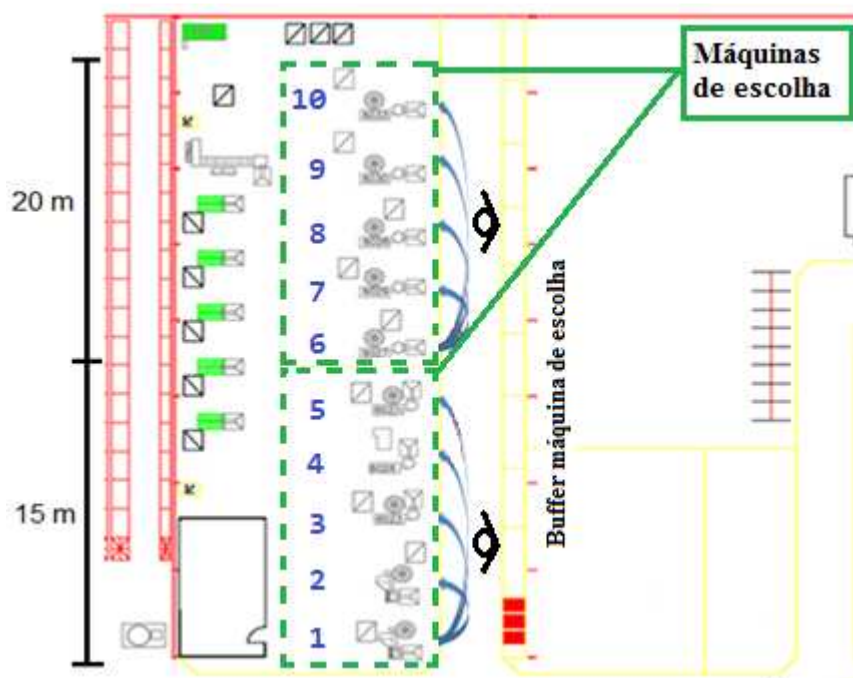


Figura 4.11: *Layout* inicial da secção de escolha e embalagem.

Como se pode observar na figura 4.11, nesta fase preliminar, cada operador tem sob sua responsabilidade 5 máquinas, dispostas em linha, sendo que as distâncias entre as máquinas mais distantes dentro de cada um das duas secções de trabalho são de 15 e 20 metros. Esta disposição em linha contribui também para a existência de dificuldade na coordenação e planeamento da produção,

pois o operador não trabalha nas máquinas de forma sequencial, havendo assim ainda um maior desperdício de movimento. Sendo assim, uma ação de melhoria sobre este processo terá efeitos diretamente no *lead time* do produto e no esforço humano realizado pelos operadores. Esta melhoria é passível de ser obtida através de uma nova configuração do *layout* das máquinas.

❖ Evento *Kaizen* nº4: Quantidade elevada de sucata registada no processo de escolha

Na fase referente ao *Measure* deste estudo de caso, foi determinada a quantidade de sucata produzida e consequente nível sigma do processo, tendo-se obtido um nível médio de sucata de cerca de 2,36% e um nível sigma de 3,47. Nesta fase, é importante determinar e analisar os tipos de defeitos encontrados nos produtos, responsáveis pela sua não conformidade. Para isso, recorreu-se à ferramenta OEE, disponível no sistema informático da empresa, a qual possibilitou a obtenção dos tipos de perdas associadas ao produto MCS no ano de 2012, representados na tabela 4.4. Os dados foram agregados por trimestre para análise de uma eventual variação ao longo do ano.

Tabela 4.4: Produção total e não conforme por trimestre no ano de 2012.

	Jan-Mar	Abr-Jun	Jul-Set	Out-Dez	Total (%)
Produção total	4.458.488	5.186.752	4.450.568	3.635.401	100,000
Produção não conforme	90.272	134.341	107.376	87.000	2,363
- <i>Fissuras</i>	32.725	53.362	24.938	26.106	0,773
- <i>Rosca inconforme</i>	12.333	10.900	15.461	28.595	0,379
- <i>Torque inconforme</i>	7.251	13.344	29.650	12.184	0,352
- <i>Linearidade</i>	8.715	6.316	8.515	7.388	0,174
- <i>Altura da cabeça superior</i>	4.588	11.077	12.487	300	0,160
- <i>Diâmetro parcial superior</i>	8.941	13.978	0	540	0,132
- <i>Diâmetro da anilha superior</i>	2.597	9.828	0	530	0,073
- <i>Altura da cabeça inferior</i>	5.100	3.043	1.933	331	0,059
- <i>Excesso de geometria no torx</i>	0	0	6.357	0	0,036
- <i>Profundidade do torx inferior</i>	2.863	0	0	2.321	0,029
- <i>Comprimento da rosca superior</i>	3.556	0	1.666	0	0,029
- <i>Diâmetro da rosca superior</i>	0	0	2.047	2.966	0,028
- <i>Diâmetro de ponta inconforme</i>	0	2.427	0	2.080	0,025
- <i>Ângulo inconforme</i>	0	0	1.666	2.489	0,023
- <i>Diâmetro da anilha inferior</i>	0	3.385	0	216	0,020
- <i>Altura do anel superior</i>	0	3.080	0	0	0,017
- <i>Diâmetro parcial inferior</i>	1.143	0	1.189	0	0,013
- <i>Diâmetro da gola inferior</i>	0	1.690	0	0	0,010
- <i>Diâmetro da cabeça superior</i>	0	1.284	302	0	0,009
- <i>Diâmetro da rosca inferior</i>	0	0	1.165	0	0,007
- <i>Rebarba na cabeça</i>	0	0	0	954	0,005
- <i>Comprimento da rosca inferior</i>	0	627	0	0	0,004
- <i>Philips inconforme</i>	460	0	0	0	0,003

Perante o elevado número de tipos de defeitos obtidos, será conveniente a aplicação do diagrama de *Pareto*, para distinção dos defeitos que representam maior percentagem de ocorrência daqueles que são menos relevantes para atuações de melhoria a curto prazo. Como tal, estabeleceram-se as classes de defeitos representadas na figura 4.12.

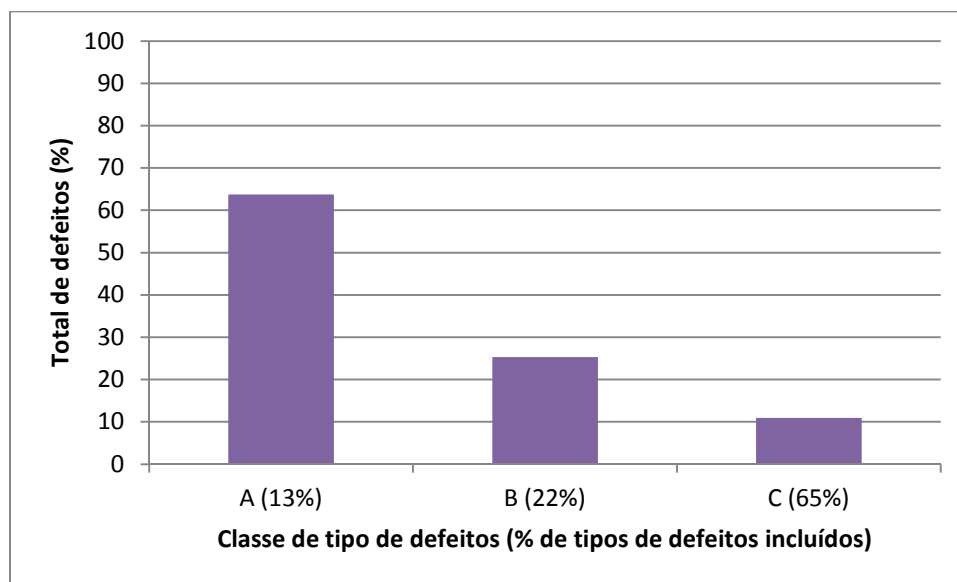


Figura 4.12: Diagrama de *Pareto* para a sucata.

- Classe A:

- Fissuras: $0,773\% / 2,363\% \times 100\% = 32,75\%$
- Rosca inconforme: $0,379\% / 2,363\% \times 100\% = 16,06\%$
- Torque inconforme: $0,352\% / 2,363\% \times 100\% = 14,91\%$

- 13% de tipos de defeitos
- 63,73% de total de defeitos

A classe A engloba a menor percentagem de tipos de defeitos (3 tipos) – fissuras, rosca inconforme e torque inconforme – representando, no entanto, 63,73% do total de defeitos, responsáveis pela não conformidade do produto final. Será esta a classe mais crítica, sobre a qual deverão incidir ações de melhoria, visando a diminuição da percentagem de produtos defeituosos e consequente aumento da qualidade e do nível sigma do processo.

- Classe B:

- Linearidade: $0,174\% / 2,363\% \times 100\% = 7,37\%$
- Altura superior da cabeça: $0,160\% / 2,363\% \times 100\% = 6,78\%$
- Diâmetro parcial superior: $0,132\% / 2,363\% \times 100\% = 5,59\%$
- Diâmetro superior da anilha: $0,073\% / 2,363\% \times 100\% = 3,09\%$
- Altura inferior da cabeça: $0,059\% / 2,363\% \times 100\% = 2,50\%$

- 22% de tipos de defeitos
- 25,34% de total de defeitos

A classe B representa a classe intermédia, contendo 22% do total de tipos de defeitos existentes e sendo responsável pela não conformidade de 25,34% do total de parafusos produzidos. Esta classe representa o conjunto de defeitos, sobre os quais devem incidir eventuais ações de melhoria de 2ª prioridade, após a melhoria dos valores obtidos na classe A.

- Classe C:

- Excesso de geometria no torx: $0,036\% / 2,363\% \times 100\% = 1,53\%$
- Profundidade do torx inferior: $0,029\% / 2,363\% \times 100\% = 1,23\%$
- Comprimento da rosca superior: $0,029\% / 2,363\% \times 100\% = 1,23\%$
- Diâmetro da rosca superior: $0,028\% / 2,363\% \times 100\% = 1,19\%$
- Diâmetro de ponta inconforme: $0,025\% / 2,363\% \times 100\% = 1,06\%$
- Ângulo inconforme: $0,023\% / 2,363\% \times 100\% = 0,97\%$
- Diâmetro de anilha inferior: $0,020\% / 2,363\% \times 100\% = 0,85\%$
- Altura do anel superior: $0,017\% / 2,363\% \times 100\% = 0,72\%$
- Diâmetro parcial inferior: $0,013\% / 2,363\% \times 100\% = 0,55\%$
- Diâmetro da gola inferior: $0,010\% / 2,363\% \times 100\% = 0,42\%$
- Diâmetro da cabeça superior: $0,009\% / 2,363\% \times 100\% = 0,38\%$
- Diâmetro da rosca inferior: $0,007\% / 2,363\% \times 100\% = 0,30\%$
- Rebarba na cabeça: $0,005\% / 2,363\% \times 100\% = 0,21\%$
- Comprimento da rosca inconforme: $0,004\% / 2,363\% \times 100\% = 0,17\%$
- *Philips* inconforme: $0,003\% / 2,363\% \times 100\% = 0,13\%$

- 65% de tipos de defeitos
- 10,93% de total de defeitos

A classe C representa o conjunto de produtos cuja percentagem do total de defeitos é a menor (10,93%), tratando-se por isso de defeitos sobre os quais não devem incidir ações de melhoria prioritárias.

Em suma, os valores obtidos são representados na figura 4.13, onde se pode verificar que a classe de tipos de defeitos que representam um maior peso de sucata total é a classe A, a qual engloba fissuras e inconformidades na rosca e no torque. Esta classe representa cerca de 64% do total de defeitos de todo o processo, o que significa que a sua eliminação poderá resultar em reduções no nível total de sucata do processo de 2,36% para 0,85%. Como tal, será sobre esses tipos de defeitos que as ações de melhoria devem ser tomadas.

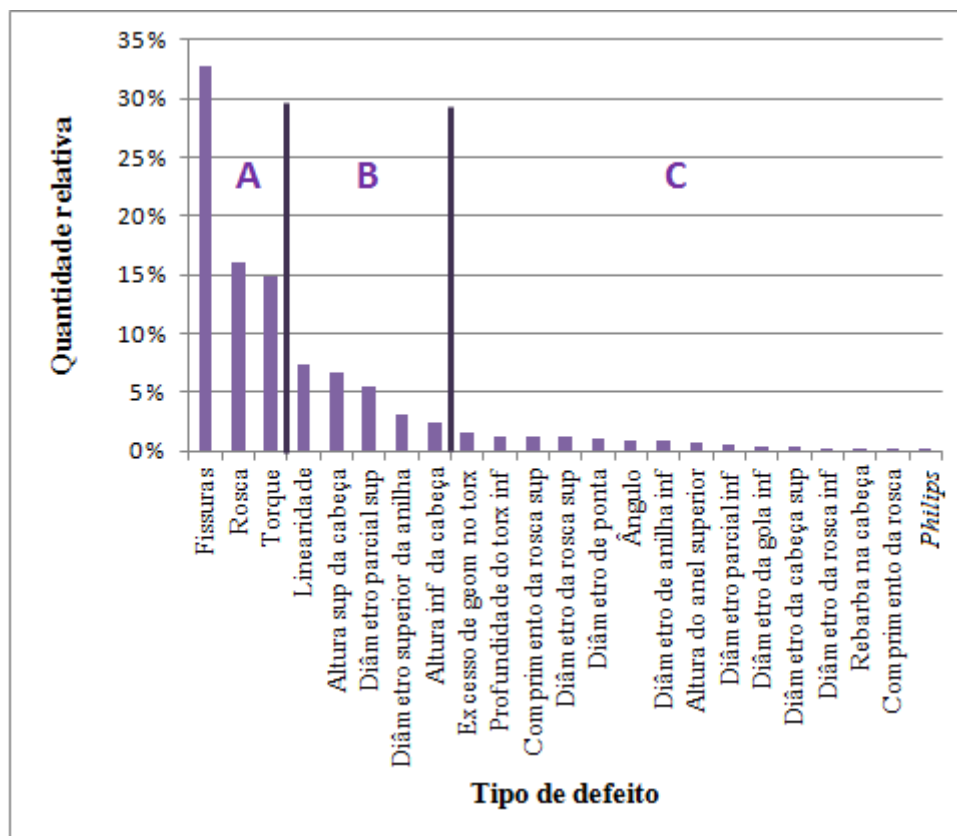


Figura 4.13: Quantidade relativa de cada tipo de defeito detetado.

Como foi definido através da utilização do diagrama de *Pareto*, as ações de melhoria a curto prazo deverão incidir sobre os tipos de defeitos incluídos na classe A (fissuras, rosca inconforme e torque inconforme). Para a análise das causas responsáveis pelo aparecimento de fissuras, recorreu-se à aplicação do diagrama de *Ishikawa*, representado na figura 4.14. Constatou-se que grande parte das causas associadas a este tipo de defeitos está associada ao processo de estampagem, já que engloba todas as perdas associadas à máquina e ao processo.

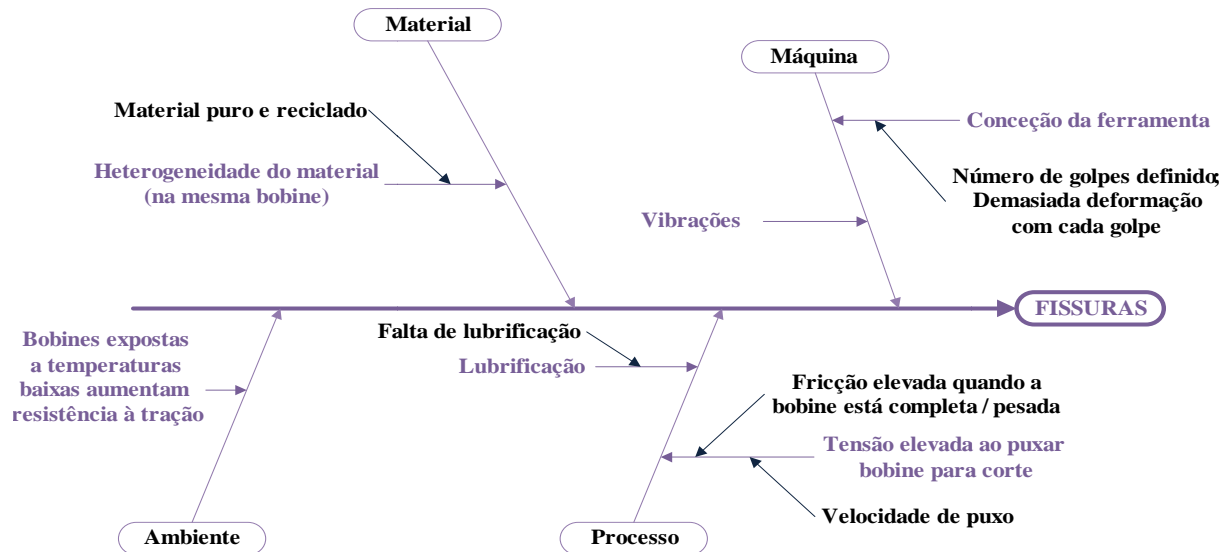


Figura 4.14: Diagrama de Ishikawa para as perdas associadas com fissuras no produto final.

As causas representadas na figura 4.14 foram determinadas através da observação direta do processo e da aplicação de conhecimentos relativos a tecnologias e processos mecânicos. No entanto, verificaram-se algumas limitações na quantificação de cada causa associada ao aparecimento de fissuras, pelo que o objetivo, a longo prazo, será reduzir/eliminar cada causa identificada.

Relativamente aos outros dois tipos de defeito, pertencentes à classe A da análise ABC realizada, foi determinada, por *brainstorming*, uma causa associada à origem de cada defeito, representadas na figura 4.15. Determinou-se que a inconformidade no torque resulta do desgaste da ferramenta utilizada na estampagem, o qual origina também o defeito designado por rebarbas na cabeça. A substituição da ferramenta só é realizada após a sua utilização por um determinado período de tempo, não sendo realizado um acompanhamento contínuo do seu desgaste. Por outro lado, a inconformidade na rosca tem origem no manuseamento dos produtos em via de fabrico, na logística interna e nos processos de tratamento térmico e tratamento de superfície. Sendo um produto fabricado em grandes proporções, o transporte e o manuseamento são feitos em grandes lotes, implicando altos níveis de força de embate e de tensão sobre os produtos, o que provoca a existência de filetes lascados.

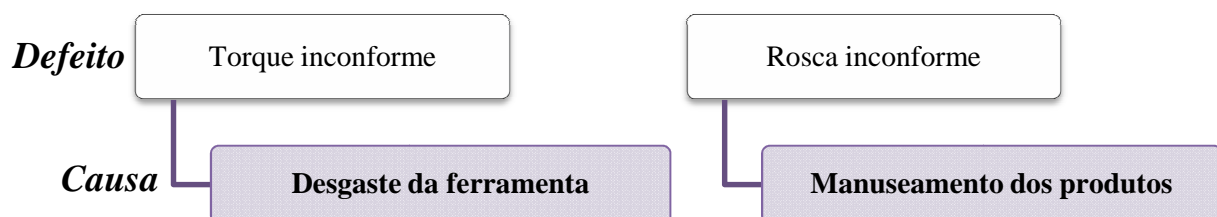


Figura 4.15: Causas de inconformidades no torque e na rosca.

Para o sucesso deste projeto, é essencial que seja estabelecido um plano de ações de melhoria bem hierarquizado, através da priorização das causas de problemas a resolver. Para isso, será útil a aplicação da ferramenta matriz de prioridades, sendo que a tomada de decisão envolve múltiplas alternativas e múltiplos critérios. A aplicação desta ferramenta encontra-se no anexo B.

Com base na matriz de prioridades efetuada (tabela B.8), definiu-se que as causas sobre as quais iriam incidir ações de melhoria eram a temperatura sob a qual a matéria-prima é exposta (X_2), a falta de lubrificação (X_3), a fricção elevada no *input* na máquina de estampagem (X_7) e o desgaste da ferramenta (X_8), representadas na figura 4.16.

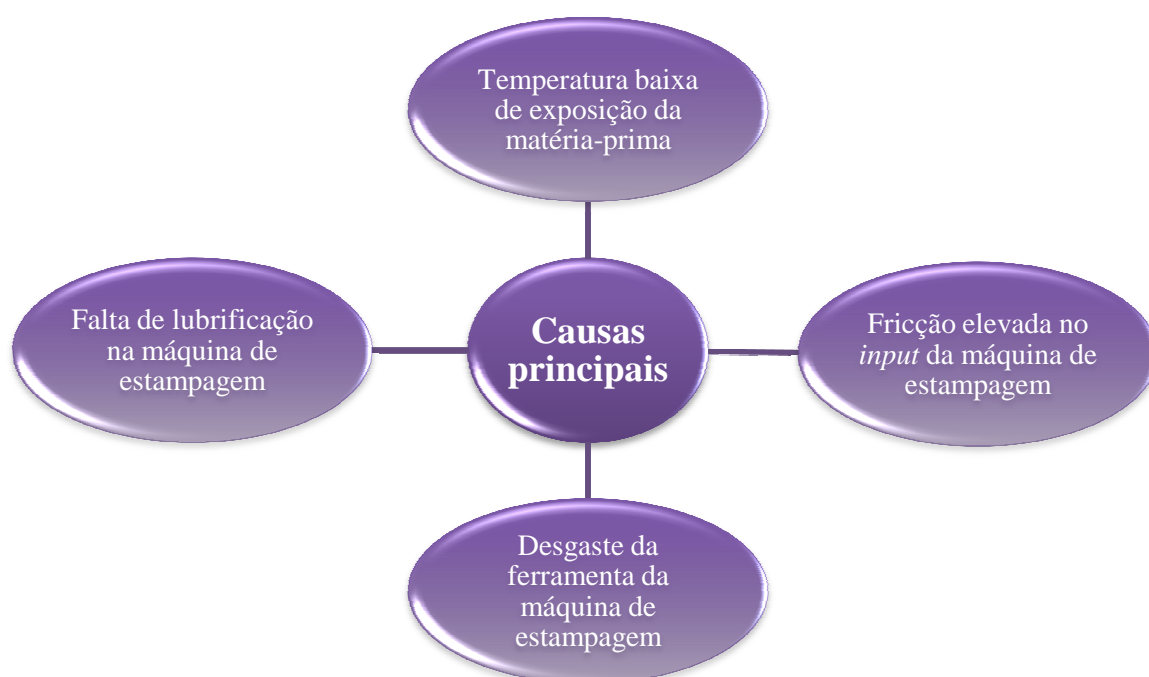


Figura 4.16: Causas identificadas para realização de ações de melhoria.

4.3.4. Melhorar

Nesta fase, partindo das oportunidades de melhoria identificadas e analisadas na fase anterior, determinaram-se e implementaram-se soluções, quantificando-se simultaneamente os seus benefícios.

❖ Evento Kaizen nº1: Tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem elevado

Tendo em consideração a exigente necessidade de se recorrer frequentemente a mudanças de ferramentas nas máquinas de estampagem e de escolha devido ao elevado *mix* de produtos fabricado nesta fábrica, o tempo associado a essas mudanças deve ser continuamente alvo de melhorias visando

a sua redução constante. Como tal, o primeiro evento *Kaizen* identificado centrou-se na ação de reduzir o tempo de mudança de ferramentas associado à máquina de estampagem, através da metodologia SMED. Aqui, foi seguida e aplicada a metodologia sugerida por Shingo (1985), com 4 fases distintas, incluindo a fase preliminar.

Inicialmente, com o auxílio da realização de vídeos e sua posterior análise, foram discriminadas todas as tarefas realizadas pelo operador, associando a cada tarefa o tempo e a distância percorrida para o cumprimento da mesma. Esta fase corresponde ao estágio preliminar da metodologia de Shingo (1985), onde ainda não há qualquer distinção entre os tipos de *setup*. Para a medição da distância percorrida pelo operador na realização de cada tarefa, foi utilizada a ferramenta *Spaghetti Diagram*, que demonstrou ser bastante útil para esse efeito. Consiste na representação em papel do *layout* do posto de trabalho onde o colaborador desempenha as suas atividades, traçando as rotas percorridas pelo mesmo ao longo da atividade de mudança de ferramentas. Estas representações podem ser consultadas no anexo D, com as respetivas rotas e distâncias percorridas pelo trabalhador, antes e depois da implementação da metodologia SMED.

Após a discriminação das tarefas desempenhadas pelo trabalhador, classificou-se cada uma delas em *setups* internos e externos, consoante a tarefa é feita com a máquina parada ou em funcionamento. Nesta fase, também é classificada cada tarefa em essencial ou se está associada a algum tipo de desperdício que possa ser eliminado, sendo esse desperdício classificado num dos 7 tipos de desperdício designados na cultura *Lean*. Constatou-se que, antes da aplicação de melhorias, todas as tarefas eram desempenhadas com a máquina parada, i.e. todas as tarefas constituíam *setups* internos. O tempo total cronometrado desde o início da troca de ferramentas até ao início do funcionamento da máquina foi de 233 minutos e 30 segundos, com um total de 644 metros percorridos pelo operador. Todos estes dados podem ser consultados em detalhe no anexo C deste trabalho.

Estando a primeira fase da metodologia cumprida, é possível iniciar a 2ª fase, onde se requer a conversão de *setups* internos em externos, quando possível. Esta conversão é possível quando se tratam, por exemplo, de *setups* associados a limpezas da máquina, procura de ferramentas e aperto ou desaperto de peças, quando não requer o funcionamento da máquina. Todas essas operações podem ser adiantadas para antes da paragem da máquina ou diferidas para depois de colocar a máquina em funcionamento, normalizando esses procedimentos. Neste projeto, foi possível a transformação de um tempo nulo em *setups* externos para um total de cerca de 14 minutos, reduzindo assim o tempo total em que a máquina está em paragem.

A etapa mais crítica desta metodologia, que implica a redução substancial do tempo total de troca de ferramentas é a 3ª e última fase, onde são racionalizados todos os tempos de *setup*, quando possível. Aqui, devem ser aplicadas melhorias na gestão visual, na organização dos postos de trabalho e em

pequenos fatores como a usabilidade e a praticabilidade de utilização das ferramentas. Uma ferramenta que poderá ser complementar e útil para a melhoria destes parâmetros é a ferramenta 5S, a qual se centra na melhoria da organização, limpeza e disciplina dos postos de trabalho, sendo esta já implementada na empresa em estudo. A eliminação de algumas atividades também foi possível, tendo em conta a sua inutilidade para os requisitos do procedimento. Algumas medidas de racionalização tomadas estão representadas nas figuras seguintes (figuras 4.17-4.20), que contribuíram para a diminuição total do tempo de paragem da máquina e da distância percorrida pelo operador, através da eliminação de alguns tipos de desperdício, nomeadamente de movimento e de espera.



Figura 4.17: Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (1).



Figura 4.18: Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (2).



Figura 4.19: Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (3).



Figura 4.20: Diferenças implementadas com a ferramenta SMED (4).

Como é dedutível pelas implementações efetuadas, pequenas diferenças, tanto na gestão visual como na utilização de pequenos meios para o aumento da praticabilidade do manuseamento das ferramentas, permitem uma redução considerável no tempo associado à mudança de ferramentas da máquina, contribuindo assim para a redução do *lead time* do produto. Com a implementação da metodologia SMED, foi possível obter ganhos substanciais, tanto no tempo de mudança de ferramentas, como na distância percorrida pelo trabalhador ao longo da mudança. Estes ganhos traduziram-se num impacto direto sobre o nível de disponibilidade da máquina e, consequentemente, sobre a capacidade produtiva e o *lead time* do produto. Na tabela 4.5 estão representadas as diferenças entre o tempo de mudança anterior e posterior à implementação do SMED, assim como as distâncias percorridas pelo operador.

Tabela 4.5: Tabela geral de resultados com a implementação da metodologia SMED.

	Antes da implementação	Depois da implementação	Diferença
Tempo de mudança total (min.)	<u>233,5</u>	<u>192,5</u>	<u>-18%</u>
- <i>Setups</i> internos (min.)	233,5	178,9	-23%
- <i>Setups</i> externos (min.)	0	13,6	-
Distância total percorrida (m)	<u>644</u>	<u>233</u>	<u>-64%</u>
- <i>Setups</i> internos (m)	644	233	-64%
- <i>Setups</i> externos (m)	0	0	-

Como se pode verificar pela tabela 4.5, com a metodologia SMED foi possível obter uma redução de 23% no tempo total de mudança de ferramentas em que a máquina está parada e uma redução de 64% na distância percorrida pelo operador nessa atividade. Os valores referentes à fase posterior à implementação foram obtidos através do acompanhamento da atividade e da utilização da técnica de cronometragem. Estas reduções tiveram um impacto direto no *lead time* do produto, como se pode verificar nos valores de OEE e de capacidade produtiva do processo antes e depois da implementação, representados na figura 4.21.

Tal como é constatável através da análise da figura 4.21, a redução do tempo de mudança de ferramentas tem um impacto direto sobre o valor de OEE do processo, tendo neste caso aumentado, em média, de 67% para 68%, devido ao aumento de disponibilidade da máquina. Isto resultou num aumento de capacidade de produção média de 96 peças por hora (cerca de 1,5%), o que constitui um fator positivo para a contribuição da satisfação dos requisitos do cliente.

<u>ANTES</u>		<u>DEPOIS</u>	
dedicado		dedicado	
Estampagem+Roscaçagem		Estampagem+Roscaçagem	
tempo ciclo (s)	0,375	tempo ciclo (s)	0,375
capacidade/h	6.432	capacidade/h	6.528
nº máquinas	1	nº máquinas	1
operadores/turno	0,75	operadores/turno	0,75
OEE [%]	67	OEE [%]	68
sucata [%]	0,03	sucata [%]	0,03
tempo CO (min.)	234	tempo CO (min.)	178
freq. CO	1/semana	freq. CO	1/semana
observações:		observações:	

Figura 4.21: Impactos da implementação da ferramenta SMED.

Os aumentos representados na figura 4.21 são obtidos através dos seguintes cálculos:

- Total de tempo utilizado em mudanças de ferramentas em 2012: 96,43 horas
- Redução média verificada no tempo de mudança de ferramentas: 23%
- OEE inicial: 67%
- Tempo total de paragens da máquina registado em 2012: 774,34 horas
- Tempo de ciclo da máquina: 0,375 segundos / peça

$$\text{➤ Aumento de OEE} = \frac{(96,43h \times 0,23) \times (1 - 0,67)}{774,34h} = 1\%$$

$$\text{➤ Capacidade horária de produção após melhorias} = \frac{3.600 s}{0,375 s/peça} \times 0,68 = 6.528 \text{ peças}$$

❖ Evento Kaizen nº2: Nível alto de stock e ocorrência de paragens de produção involuntárias

Uma das recentes mudanças verificadas na organização em estudo consiste na adoção de um sistema *Pull*, ao invés do sistema *Push*, que era base do sistema de produção antigo. Atualmente, estando este sistema ainda a ser implementado na mentalidade de toda a organização, a produção é realizada com base nas encomendas feitas pelos clientes, com um fluxo de informação bem organizado a percorrer todo o fluxo produtivo no sentido a jusante. Para a cimentação deste tipo de sistema produtivo, a utilização de *Kanbans* é fundamental e, por isso, deve ser implementada. Tendo em conta o elevado nível de *stock* verificado no *buffer* de matérias-primas e a verificação de alguma dessincronização no abastecimento das mesmas nas máquinas de estampagem, pretende-se a implementação de um sistema de dois cartões *Kanban* na ligação dos processos relativos à decapagem e estampagem, com um supermercado a regular a produção. Sendo assim, a metodologia aplicada consiste na seguinte sequência de operações:

➤ Quando um operador (denomine-se por operador A) só tem uma bobine de matéria-prima na máquina de estampagem, faz a requisição de uma nova bobine, através do preenchimento de um *Kanban* de transporte e colocando esse mesmo cartão no placar *Kanban*. Um operador responsável pelo transporte de material na fábrica (operador B), o qual tem uma rota definida, recolhe o cartão preenchido pelo operador A, quando passa no placar *Kanban*. O operador B transporta o cartão recolhido até ao supermercado onde se encontra o material decapado, colocando o cartão num outro placar *Kanban* na secção de entrada (este placar terá secção de entrada e secção de saída) e retirando do supermercado o artigo pretendido, o qual é levado para a máquina de estampagem que o requisitou. O operador responsável pela operação de decapagem (operador C), conforme o material retirado do supermercado, inicia o processo de tratamento de uma bobine de matéria-prima desse tipo de material, após a recolha do cartão de transporte, que nesse momento converteu-se num cartão de produção.

Depois de decapado, o rolo de matéria-prima é reposto no supermercado pelo operador C. Teoricamente, trata-se de um sistema de abastecimento organizado por dois cartões *Kanban* com funções diferentes, mas, na prática, o sistema é coordenado por apenas um cartão que muda de função consoante a sua posição.

Como é observável na figura 4.22, o sistema *Kanban* utilizado é associado a duas cores – o verde e o vermelho. Cada coluna do quadro *Kanban* corresponde a uma máquina diferente de estampagem. Cada máquina está programada a ter dois rolos de matéria-prima, sendo um em processamento e outro num *buffer* de entrada. Quando o rolo em processamento é totalmente processado, o rolo que se situa no *buffer* de entrada entra para processamento e é emitido um cartão *Kanban* para pedido de um novo rolo de matéria-prima, para colocação no *buffer* de entrada. Esse cartão *Kanban* é colocado na coluna respetiva à máquina, na zona verde. Caso o rolo de matéria-prima que foi colocado em processamento seja totalmente utilizado, sem que tenha chegado um novo rolo para o *buffer* de entrada, é emitido um novo cartão *Kanban* que é colocado na zona vermelha, significando que a máquina está parada por falta de matéria-prima. O cartão *Kanban* utilizado na empresa PSF está representado na figura 4.23.

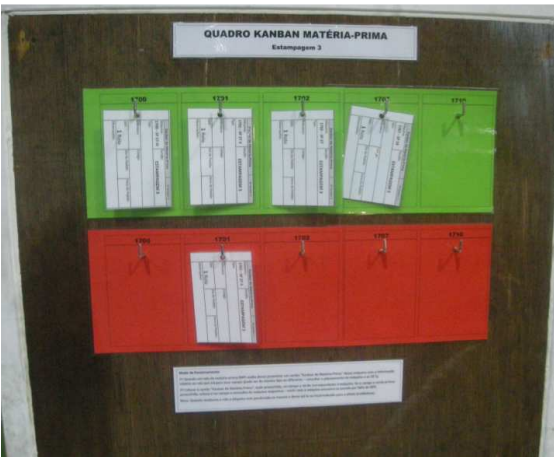


Figura 4.22: Quadro *Kanban* de matéria-prima existente junto à máquina de estampagem.



Figura 4.23: Cartão *Kanban* utilizado na empresa PSF.

É importante destacar, na implementação deste sistema, a necessidade de cálculo relativo à rota a ser feita pelo empilhador no abastecimento das matérias-primas. Para isso, foi calculado o consumo de matéria-prima pelas estampadoras, considerando a cadência máxima possível. Nesse caso, o cálculo baseou-se nos seguintes dados, pertencentes a uma máquina que fabrica outro produto que não o MCS, pertencendo no entanto à mesma secção de máquinas de estampagem onde está a ser implementada esta ferramenta:

- Cadência máxima da máquina: 160 peças / minuto;
- Número de máquinas: 5 máquinas de estampagem;
- Produção diária máxima: 160 peças / minuto x 60 minutos x 16 horas = 153.600 peças / dia;
- Número de peças por bobine: 65.574 peças / bobine;
- Número de bobines necessárias: $\frac{153.600 \text{ peças / dia}}{65574 \text{ peças / bobine}} = 2,34 \text{ bobines / dia};$
- Tempo de consumo de uma bobine: $\frac{65.574 \text{ peças / bobine}}{160 \text{ peças / minuto}} = 6 \text{ horas e } 50 \text{ minutos};$
- Número máximo de bobines por dia: 2,34 bobines / dia x 5 máquinas = 12 bobines / dia;
- Horário de trabalho do empilhador = 8 horas / dia
- Capacidade de transporte da empilhadora = 1 bobine

Sendo assim, a rota do empilhador foi definida para verificar o quadro de *Kanbans* de 40 em 40 minutos, para que não haja riscos de atraso nos abastecimentos (8 horas por dia / 12 bobines por dia = 0,67 horas / bobine).

Para além da rota, também é necessário calcular o valor de *stock* que se deve verificar no supermercado, sem que exista risco de rutura de *stock* e não tendo um valor excessivo ao necessário. Para o fazer, é necessário ter em conta o consumo diário de cada tipo de matéria-prima, assim como a capacidade produtiva do processo de decapagem, para que seja assegurado o nivelamento da produção. Neste projeto, apenas são pretendidas melhorias no fluxo produtivo do produto MCS, fabricado em somente uma das máquinas de estampagem e, como tal, será sobre esse produto e respetivo tipo de material que será incidido este estudo. Para isso, recorreu-se aos dados existentes no sistema informático da empresa, estando representado na figura 4.24 o valor dos consumos semanais verificados no ano de 2012, em matéria-prima do produto MCS.

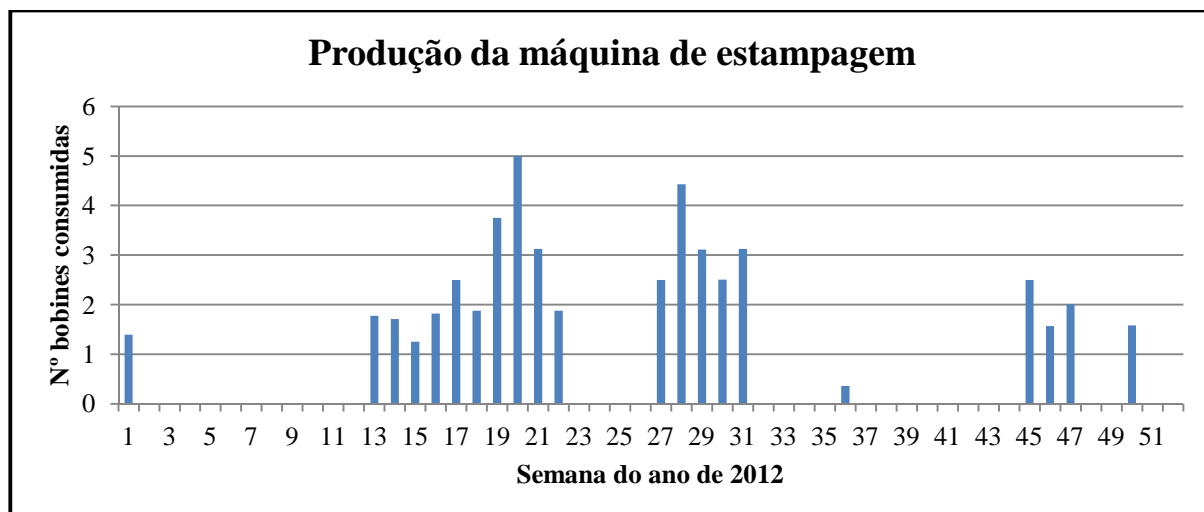


Figura 4.24: Número de bobines consumidas na máquina de estampagem para o produto MCS.

Relativamente à estampagem do produto MCS, sendo a cadência máxima da máquina na ordem das 160 peças por minuto e a possibilidade de fabricar 200.000 peças a partir de 1 bobine, é dedutível que a produção máxima numa semana normal de trabalho (16 horas por dia, em 5 dias de semana) é de 768.000 peças ou 3,84 bobines, caso a OEE seja de 100%. Isto para referenciar as semanas 20 e 28, onde os consumos de matéria-prima foram de, respetivamente, 5 e 4,43 bobines. Estes valores excedem a produção máxima teórica devido à execução de trabalho em horas extra nessas semanas, representando assim uma causa especial de variação.

Através dos valores dos consumos apresentados, excluindo os valores nulos devido a paragens de fabricação do produto, calcula-se que a média de consumo semanal na máquina de estampagem é de 2,37 bobines. Como tal, havendo sempre 2 bobines na máquina de estampagem (uma em processamento e outra num *buffer* de entrada), propõe-se a existência de 1 bobine de aço no supermercado deste sistema de abastecimento, destinado à fabricação do produto MCS. Pela análise dos consumos semanais do ano anterior, excluindo as causas especiais já referidas, verifica-se que apenas por quatro vezes, durante todo o ano, foi excedido o valor de consumo de 3 bobines numa semana. Com a implementação do supermercado, mesmo que se verifique a necessidade de consumo superior a 3 bobines, o processo de decapagem tem capacidade de produção suficiente para atender a essa necessidade de forma rápida e sem risco de rutura de *stock*. Nos períodos em que a produção de MCS não é realizada, para evitar imobilização de *stock*, a matéria-prima destinada à fabricação deste produto poderá ser utilizada na fabricação de outros produtos da mesma matéria-prima, até haver nova previsão de produção de MCS.

Com a implementação deste sistema de abastecimento, são obtidas as diferenças representadas na figura 4.25.

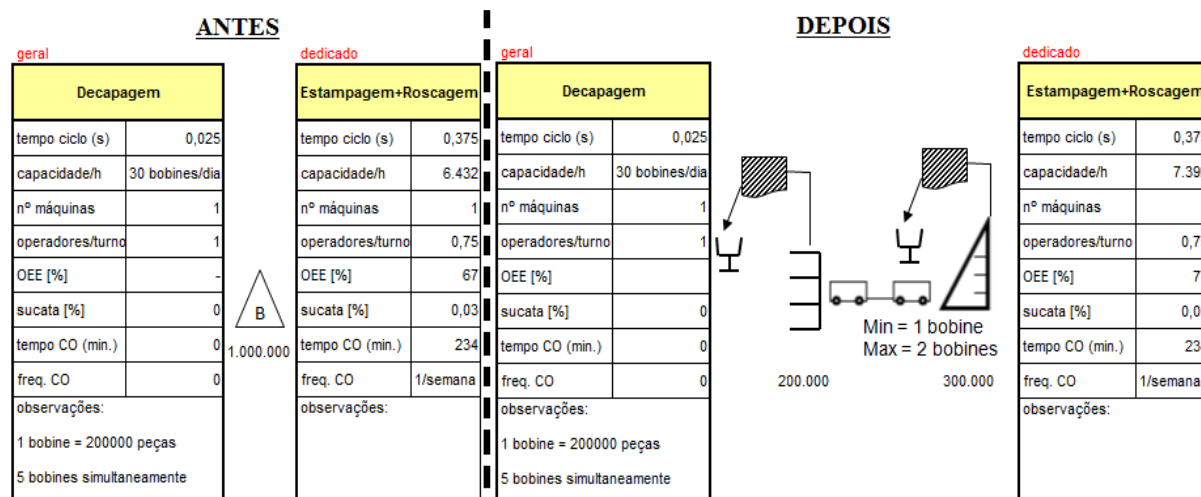


Figura 4.25: Impactos da implementação do sistema *Kanban* de matéria-prima.

Em suma, com a implementação desta ferramenta, são obtidos os seguintes benefícios:

- ✓ Melhoria na transparência dos processos, assim como na facilidade de gestão visual dos mesmos e no sistema de comunicação entre os vários postos de trabalho. Verifica-se uma maior independência de cada posto, pois podem trabalhar consoante o nível de material existente no supermercado;
- ✓ Aumento da capacidade de produção horária, com a redução da possibilidade de paragem de linha devido a falta de matéria-prima na máquina de estampagem. Considerando que esta perda é eliminada, o aumento do coeficiente de disponibilidade da máquina provoca o aumento do coeficiente OEE em 10%, o que tem como consequência o aumento da capacidade média de produção horária em 960 peças por hora;
- ✓ Maior controlo e redução na quantidade de *stock* – de uma média de 1 milhão de peças para 500 mil peças - e respetiva área de armazenamento necessária.

Esta ferramenta apenas foi implementada em pequena escala, numa única secção de máquinas de estampagem. Isto significa que a extensão da aplicação desta ferramenta ao resto da fábrica será um projeto a realizar, pois os ganhos obtidos foram significativos.

❖ Evento *Kaizen* n°3: Esforço humano alto (elevada distância percorrida)

Como já foi referido, constatou-se que o esforço humano era elevado nesta fase do fluxo produtivo, mais especificamente em relação à distância percorrida pelos operadores na interação com as máquinas de escolha. Nesse sentido e havendo disponibilidade para tal, uma nova configuração de

layout foi estudada para esta secção de produção, tendo sido analisada a hipótese da adoção de um *layout* em forma de U, formando uma célula de produção. Em primeira instância, como foi estudado na fase *Analyze*, o *layout* inicial requeria deslocações necessárias por parte dos operadores, o que resultava em esforço humano e movimentações desnecessárias. Estes dois fatores tinham um impacto negativo sobre o nível de disponibilidade da máquina, pois há a necessidade de uma frequente interação entre o operador e as máquinas, para a iniciação do seu funcionamento.

Como foi referido na revisão bibliográfica, a implementação de uma linha de produção em forma de U é bastante útil para uma situação em que são atribuídas múltiplas funções a um trabalhador. Desta maneira, o trabalhador pode mover-se entre os dois lados da linha em U, permitindo a criação de um *layout* mais eficiente e, também, a redução do rácio entre o número de trabalhadores e o número de máquinas. Para além disso, também é possível a obtenção de reduções no *lead time* do produto, visto que se reduz a quantidade de desperdícios associados a movimentos desnecessários. Foi, então, implementada uma célula de produção em forma de U, estando representada na figura 4.26.

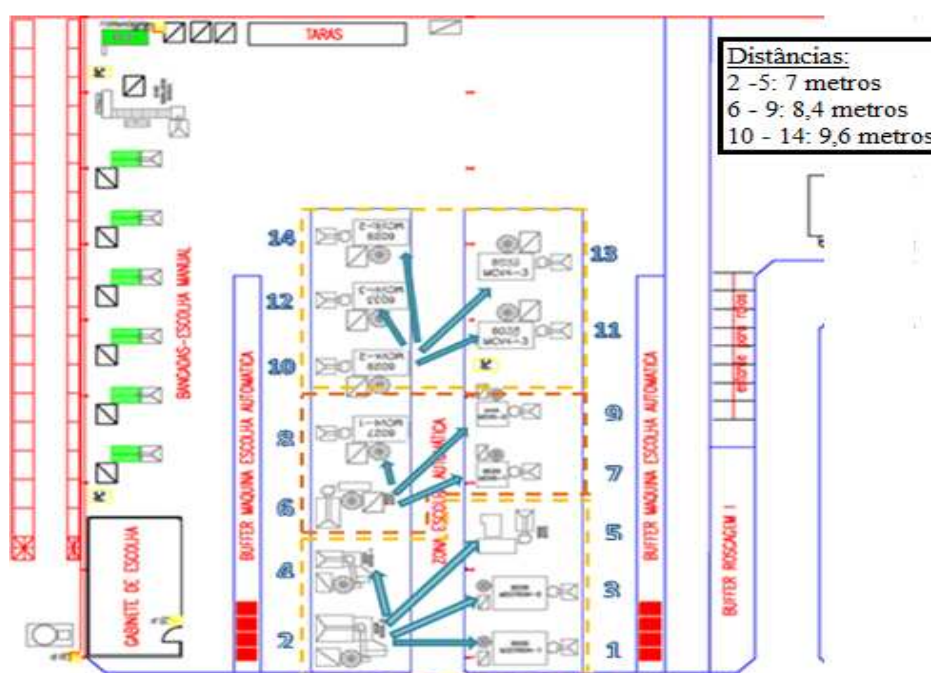


Figura 4.26: Layout implementado na secção de escolha e embalagem.

Como é dedutível através da interpretação da figura 4.26, com a diferente disposição das máquinas, foi possível a aquisição de 4 novas máquinas para esta secção do fluxo produtivo. Por essa razão, foi colocado um operador adicional para trabalhar nesta secção, passando portanto a haver 3 operadores responsáveis pela operação de escolha e embalagem. No entanto, o número de máquinas sob responsabilidade de cada operador diminuiu, tendo passado de 5 máquinas por operador para uma

média de 4,6 máquinas por operador (as máquinas sob responsabilidade de cada operador podem ser consultadas na figura 4.26). Por outro lado, tratando-se do mais relevante, a distância percorrida por cada operador diminuiu, resultando numa redução no nível de desperdício verificado de movimento humano desnecessário. Para além disso, os operadores podem agora ter também um nível de vigilância maior sobre a sua secção de trabalho.

A implementação de uma célula de produção permite a redução significativa de um desperdício bastante frequente nas fábricas – o de movimento humano desnecessário. A aplicação de medidas que minimizem esse desperdício pode ter impactos significativos no *lead time* do produto e nos custos associados à mão-de-obra utilizada. Em suma, a simples mudança de disposição das máquinas, que estavam em linha, para uma configuração em U, permitiu a aquisição de 4 novas máquinas e consequente aumento da capacidade produtiva, através do aumento da disponibilidade das máquinas e aumento da OEE do processo. A junção de todos os fatores referidos contribuiu para um aumento da disponibilidade das máquinas e do valor de OEE associado a este processo em 1,5% e, consequentemente, para o aumento da capacidade de produção horária. A diferença obtida pode ser consultada na figura 4.27.

ANTES		DEPOIS	
dedicado		dedicado	
Escolha+Embalagem		Escolha+Embalagem	
tempo ciclo (s)	0,46	tempo ciclo (s)	0,46
capacidade/h	5.463	capacidade/h	5.580
nº máquinas	1	nº máquinas	1
operadores/turno	0,25	operadores/turno	0,25
OEE [%]	69,8	OEE [%]	71,3
sucata [%]	2,36	sucata [%]	2,36
tempo CO (min.)	98	tempo CO (min.)	98
freq. CO	1/semana	freq. CO	1/semana
observações: retrabalho 30%		observações: retrabalho 30%	

Figura 4.27: Impactos da implementação de uma célula de produção.

❖ Evento Kaizen nº4: Quantidade elevada de sucata registada no processo de escolha

Perante as causas prioritárias definidas na fase anterior, através de uma sessão de *brainstorming*, foram propostas as ações de melhoria apresentadas na tabela 4.6, que visam a eliminação da causa raiz conducente ao problema identificado correspondente.

Tabela 4.6: Ações de melhoria propostas para a diminuição do nível de sucata.

Causa identificada	Ação de melhoria proposta
1. Temperatura baixa de exposição da matéria-prima.	Transferência de bobines para o interior do pavilhão de armazenamento e utilização de cobertores
2. Falta de lubrificação na máquina de estampagem.	Aumento do caudal de lubrificante no processo de estampagem.
3. Fricção elevada da matéria-prima no <i>input</i> na máquina de estampagem.	Redução do comprimento das bobines introduzidas na máquina de estampagem.
4. Desgaste da ferramenta da máquina de estampagem.	Revisão periódica da ferramenta utilizada na estampagem, através de técnicas de amostragem.

Relativamente à primeira causa identificada, correspondente à temperatura reduzida sob a qual a matéria-prima está exposta, anteriormente ao seu processamento, a intervenção mais óbvia passará por impedir essa mesma exposição. Tal ação poderá ser feita através da transferência da matéria-prima para o interior do pavilhão onde é armazenada a matéria-prima decapada, sendo que é um local mais quente e existe espaço livre para o fazer. Caso se verifique uma quantidade de matéria-prima superior à capacidade de armazenamento desse mesmo pavilhão, a exposição a temperaturas mais baixas será impedida através da utilização de cobertores térmicos sobre as bobines.

Acerca das causas identificadas que estão inerentes ao processo de estampagem, a falta de lubrificação poderá ser eliminada através da configuração da máquina, aumentando a quantidade de líquido lubrificante a expelir ao longo do processo.

Por outro lado, a fricção elevada da matéria-prima verificada no *input* da máquina será facilmente eliminada através da redução do comprimento das bobines, já que essa fricção é causada pelo excessivo peso das bobines quando estas estão completas. Essa redução será feita através da execução de um corte nas bobines, previamente à sua introdução nas máquinas de estampagem, dividindo-se as bobines em duas metades. Assim, assegura-se a manutenção da capacidade produtiva do processo de decapagem e evita-se a necessidade de pedidos especiais aos fornecedores.

Por fim, o desgaste da ferramenta na máquina de estampagem, o qual é responsável por uma grande parte de defeitos (cerca de 14,91% de produtos defeituosos por inconformidade no torque e 0,21% por rebarbas na cabeça do parafuso), será evitado através da sua revisão e manutenção periódica. Esta revisão deverá ser feita após a produção de um lote (48.000 parafusos), através da recolha de uma amostra e realizando-se um controlo de qualidade da mesma, visando avaliar o estado de desgaste da ferramenta. Assim, será possível a sua manutenção periódica, através da afiação das matrizes de estampagem, e a sua substituição atempada, evitando o surgimento de um elevado número de defeitos derivados do desgaste da ferramenta.

Com a aplicação das medidas referidas, obter-se-á, a médio/longo prazo, as melhorias representadas na figura 4.28, considerando que os defeitos em análise serão totalmente eliminados. Num curto espaço de tempo, seria impossível obter um resultado tão radical como a total eliminação dos defeitos, mas existe a convicção de que todas as causas dos defeitos em análise foram identificadas e serão eliminadas através das ações de melhoria implementadas.

A implementação das ações de melhoria apresentadas permite o incremento do valor de OEE, através do aumento da taxa de qualidade, em 4%, resultando num aumento de capacidade de produção horária de 313 parafusos. Por outro lado, pode-se verificar uma redução da percentagem de sucata em 0,58%, eliminando-se, a médio/longo prazo, os defeitos associados à inconformidade no torque (que representa 14,91% do total de defeitos), a rebarbas na cabeça do parafuso (0,21% do total de defeitos) e algumas causas de fissuras (que no seu conjunto representam cerca de 9,36% do total de defeitos). Isto resulta num aumento do nível sigma do processo de 3,47 para 3,60.

<u>ANTES</u>		<u>DEPOIS</u>	
dedicado		dedicado	
Escolha+Embalagem		Escolha+Embalagem	
tempo ciclo (s)	0,46	tempo ciclo (s)	0,46
capacidade/h	5.463	capacidade/h	5.776
nº máquinas	1	nº máquinas	1
operadores/turno	0,3	operadores/turno	0,26
OEE [%]	69,8	OEE [%]	73,8
sucata [%]	2,36	sucata [%]	1,78
tempo CO (min.)	98	tempo CO (min.)	98
freq. CO	1/semana	freq. CO	1/semana
observações: retrabalho 30%		observações: retrabalho 30%	

Figura 4.28: Impactos da implementação de melhorias na qualidade.

4.3.5. Controlar

Esta fase trata-se da etapa mais longa do ciclo DMAIC, que requer níveis consideráveis de empenho e de comprometimento por parte da equipa responsável pelo projeto e por parte dos trabalhadores. Nesta fase, requer-se a implementação do controlo dos novos parâmetros associados aos processos, e.g. das melhorias implementadas, assegurando que as mesmas continuam a ser praticadas. Como tal, é necessário um acompanhamento contínuo dos processos, incidente na observação do desempenho dos novos parâmetros do fluxo produtivo.

No âmbito deste estudo de caso, algumas ferramentas implementadas requerem uma forte componente de formação e treino contínuo a transmitir aos trabalhadores, para que estes aprendam e interiorizem os novos métodos de trabalho, particularmente relacionados com as melhorias que advêm do SMED e da utilização de *Kanbans*. Relativamente ao SMED, foi também elaborado uma ficha de procedimento operativo, com o objetivo de estabelecer a normalização na mudança de ferramentas nas máquinas de estampagem, detalhando as tarefas que os operadores têm que executar (anexo E).

Relativamente à implementação da ferramenta *Kanban* e do supermercado, é importante manter controlo sobre a quantidade de *stock* existente entre esses processos, sendo esse o objetivo da melhoria implementada. Nesse sentido, para o controlo desta melhoria, apenas é necessário um acompanhamento do registo de quantidades de *stock* existentes, o que é bastante acessível e trivial através da consulta do sistema informático que a empresa dispõe. Da mesma forma, as alterações efetuadas ao nível do *layout* e da taxa de sucata associados ao processo de escolha não envolvem nenhuma necessidade de acompanhamento ao nível de formação dos trabalhadores, pelo que a única tarefa a desempenhar para manter as melhorias efetuadas é o registo dos indicadores de desempenho melhorados. Assim, é possível controlar a sua evolução ao longo do tempo e, caso se verifique alguma irregularidade, explorar as eventuais causas desse decréscimo e solucioná-las.

Na tabela 4.7 apresenta-se a calendarização das atividades a desempenhar no futuro, para assegurar a manutenção dos valores melhorados com este projeto.

É importante haver um acompanhamento contínuo dos trabalhadores, para que seja assegurada a prática correta dos processos e a formação adequada dos trabalhadores. Deve ser disponibilizada toda a ajuda possível por parte dos chefes de operações e pela administração, para esclarecimento de eventuais dúvidas e problemas que possam surgir na execução dos novos métodos de trabalho. Para a utilização do sistema *Kanban*, é de extrema importância a elaboração de sessões de treino e formação aos operadores e aos supervisores, já que se trata de uma nova metodologia de trabalho a implementar, com bastantes diferenças relativamente aos métodos tradicionais.

Tabela 4.7: Calendarização das atividades de controlo a desempenhar no futuro.

Mês	Set-13				Out-13					Nov-13				Dez-13			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
Medição dos KPI melhorados (mensal)				X					X				X				X
Formação no sistema <i>Kanban</i>																	
- <i>Workshops</i> e formações	X				X					X				X			
- Acompanhamento no processo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Acompanhamento e treino no processo de mudança de ferramentas																	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Para assegurar o controlo e a manutenção das melhorias implementadas, é essencial uma regular quantificação dos parâmetros dos processos que foram melhorados, pelo que se devem medir mensalmente o nível dos KPI melhorados neste projeto, através do cálculo da média das medições registadas no sistema informático da empresa. Quando a medição é feita, sugere-se a aplicação das tarefas representadas no diagrama da figura 4.29.

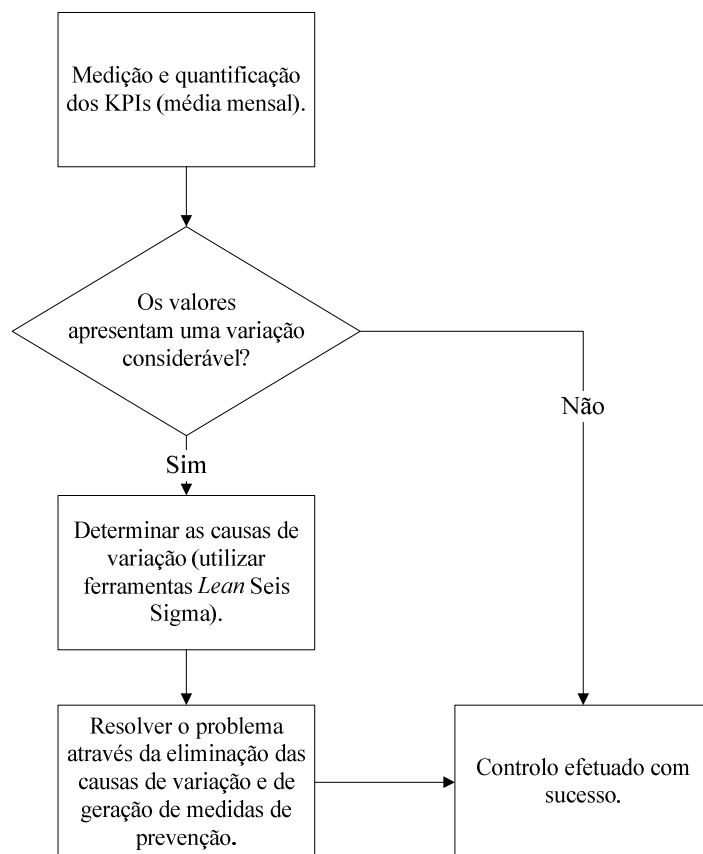


Figura 4.29: Diagrama representativo das tarefas de controlo a desempenhar.

Apesar de na calendarização sugerida constar apenas o período respetivo até ao final do ano de 2013, o controlo do sistema produtivo e a monitorização dos KPIs devem ser mantidos até estarem cimentados os novos métodos de trabalho e até os KPIs relevantes estarem totalmente estabilizados. Daí, considera-se esta fase do ciclo DMAIC a mais crítica de toda a metodologia, pois a implementação e obtenção de melhorias no sistema produtivo pode proporcionar uma sensação de “trabalho cumprido”. No entanto, tal sensação só deve ser obtida após a total estabilidade de todos os KPIs melhorados e dos novos métodos de trabalho.

CAPÍTULO V – Conclusões e recomendações

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, através da exposição dos ganhos obtidos com o projeto. São também apresentadas as limitações encontradas ao longo do desenvolvimento do trabalho e, também, as contribuições teóricas e práticas que advêm do mesmo. Por fim, são propostos possíveis caminhos a enveredar para o desenvolvimento de trabalhos futuros, no âmbito do trabalho desenvolvido.

5.1. Conclusões do estudo

Com este estudo, foi possível reiterar a importância e o impacto que a aplicação de ferramentas *Lean* Seis Sigma pode ter na melhoria dos processos de uma empresa. A implementação do paradigma de gestão *Lean*, complementado com a filosofia Seis Sigma, constitui, assim, um meio que visa atingir melhorias consideráveis na eficácia e na eficiência dos processos praticados por uma organização, podendo ser um importante contributo para o crescimento da empresa e para o estabelecimento de uma posição distinguível no mercado. Reiterou-se também que o ciclo DMAIC constitui um método organizado e eficaz para a definição de oportunidades de melhoria e para a implementação de ações de melhoria, criando-se ao mesmo tempo uma mentalidade global de melhoria contínua.

No estudo de caso realizado, a definição do projeto a realizar não constituiu grande complexidade, visto que foi requisitada, por parte do cliente e de forma proativa, a melhoria de alguns parâmetros associados à fabricação do produto MCS. Como tal, para a definição completa do projeto, apenas foi necessária a análise dos requisitos do cliente (através da ferramenta VOC), a determinação dos

parâmetros a melhorar (através da definição das características da qualidade) e a execução do *Project Charter*, onde constam as metas a atingir e os objetivos do projeto.

Após a definição do projeto, as características da qualidade definidas foram medidas e quantificadas, ao longo de todo o fluxo produtivo. Nesta fase, correspondente ao *Measure* do ciclo DMAIC, a ferramenta VSM foi útil, pois permitiu a visualização e compreensão de todo o fluxo produtivo do produto MCS, assim como a concisão de todas as características da qualidade ao longo do fluxo e devida quantificação. Dessa maneira, foi possível a identificação de oportunidades de melhoria ao longo do fluxo, através da demarcação de valores insatisfatórios com eventos *Kaizen*. Para complementar as utilidades da ferramenta VSM, foi elaborado e analisado o *layout* da empresa, assim como o respetivo fluxo físico do produto ao longo da fábrica. Por fim, nesta fase foi também determinado o nível sigma do processo, através da quantificação do número de defeitos encontrados no controlo de qualidade.

Na fase seguinte, correspondente ao *Analyze*, foi realizado um estudo analítico incidente em cada evento *Kaizen*, o qual foi feito separadamente porque cada evento incidia sobre parâmetros diferentes do processo, pelo que requeria análises e ações de melhoria diferentes em cada caso. No entanto, o propósito e o objetivo de cada evento foi constante – a satisfação das metas delineadas no projeto e consequente satisfação dos requisitos do cliente. A fase correspondente à análise dos problemas identificados permitiu constatar a existência de vários tipos de desperdício ao longo do fluxo produtivo (dos 7 tipos de desperdício identificados por Ohno (1996)), os quais foram reduzidos/eliminados, com sucesso, na fase de melhoria. As ferramentas utilizadas para a análise e melhoria de cada evento *Kaizen* emitido variaram, consoante o tipo de problema identificado e o parâmetro do processo que se pretendeu melhorar. Os ganhos obtidos são representados na figura 5.1, associados a cada ferramenta aplicada diretamente para a melhoria dos KPI.

Relativamente ao 1º evento *Kaizen* realizado, foi constatado um elevado registo de tempo médio associado à mudança de ferramentas na máquina de estampagem, processo ao longo do qual a máquina está parada. Como este é um processo frequente nas linhas de produção da fábrica, considerou-se que este parâmetro é de extrema importância para eficácia dos processos e para a agilidade que o sistema produtivo deve obter. Na fase de análise, foi utilizado o diagrama de *Ishikawa*, com o intuito de verificar os principais tipos de perdas relacionadas com o processo de mudança de ferramentas. Nesse sentido, foi decidido que a implementação da ferramenta SMED, seguindo a metodologia de Shingo (1985), seria uma aplicação potenciadora da redução do tempo de mudança de ferramentas. A aplicação da ferramenta teve um impacto considerável, tendo-se verificado uma redução, recorrendo-se a sistemas audiovisuais e cronometragem, de tempo médio de paragem da máquina de 233,5 minutos para 178,9 minutos. Para além disso, registou-se também uma redução na

necessidade de esforço humano, ao ter-se registado uma redução do percurso médio percorrido pelo trabalhador de 644 metros para 233 metros. Tudo isto resultou num aumento médio de 1% no coeficiente OEE e de 1,5% na capacidade de produção horária da máquina.

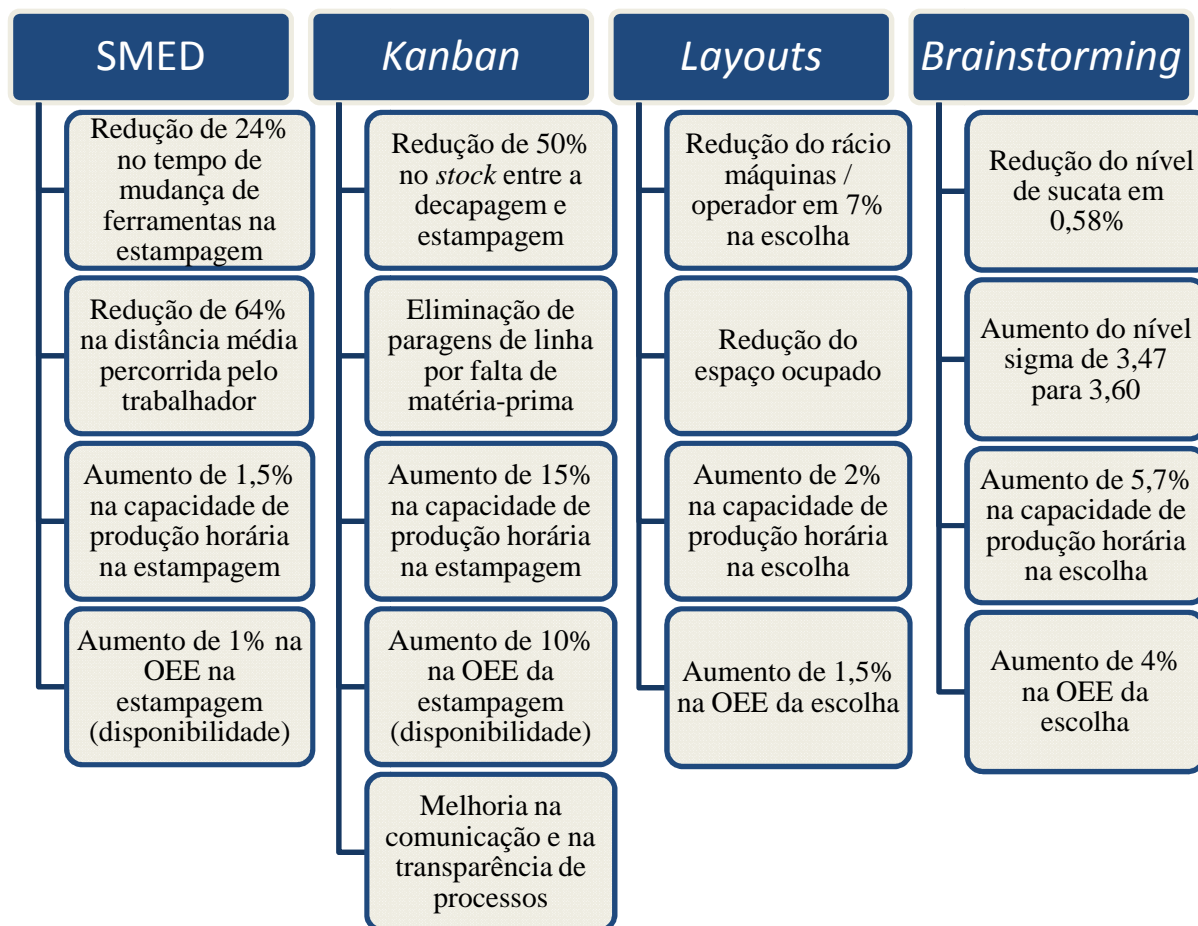


Figura 5.1: Resumo dos ganhos obtidos através das ferramentas utilizadas na fase *Improve*.

No 2º evento *Kaizen*, foram analisadas as principais causas responsáveis pela paragem da máquina de estampagem. Para isso, foram analisados os registos históricos de paragens da máquina, no ano de 2012, que permitiu identificar a falta de matéria-prima como principal responsável pelas paragens de linha (representou 29,5% do tempo de paragem total em 2012). Simultaneamente, foi constatado, através da análise do VSM, um elevado nível médio de *stock* existente entre os processos de decapagem e estampagem. A existência de um elevado nível de *stock* e a ocorrência de paragens de linha por falta de matéria-prima apenas se pode dever ao facto de se verificar irregularidades na comunicação entre os dois postos de trabalho. Como tal, foi implementado um sistema de abastecimento orientado por cartões *Kanban*, o qual permite solucionar todos os problemas identificados. A aplicação deste sistema permitiu obter uma redução média no nível de *stock* em 50%

entre os dois postos de trabalho referidos, assim como um aumento do coeficiente OEE em 10%, devido ao aumento do nível de disponibilidade da máquina de estampagem, por eliminação da possibilidade de ocorrência de faltas de matéria-prima. Este incremento no nível de OEE resulta num aumento médio de capacidade horária de produção de 15%.

A junção dos impactos obtidos com os dois primeiros eventos *Kaizen* resultou num aumento médio total de 11% no coeficiente OEE da máquina de estampagem e de 16,5% na capacidade horária de produção (em média, capacidade de produzir mais 1.056 peças por hora do que anteriormente).

No 3º evento *Kaizen* realizado, foi realizada uma simples análise do *layout* associado ao processo de escolha/embalagem. Aqui, foi identificada a oportunidade de melhoria relacionada com a disposição das máquinas, as quais se encontravam previamente dispostas em linhas. Assim, foi implementada uma disposição em forma de U, o que permitiu a redução do espaço ocupado e a aquisição de 4 novas máquinas, o que resultou numa redução do rácio que relaciona o número de máquinas por operador reduziu em 7%. O facto de ter-se verificado uma redução nas distâncias percorridas pelos operadores resultou num aumento da disponibilidade das máquinas, tendo como consequência o incremento médio do nível de OEE em 1,5% e da capacidade de produção horária em 2% (mais 117 parafusos).

Com o 4º e último evento *Kaizen*, foi executado um estudo incidente no nível da qualidade da produção realizada. Em primeira instância, foi medida a percentagem de produtos não conformes, tendo-se obtido um nível sigma de 3,47, associado a uma percentagem média de sucata de 2,36%. Na fase *Analyze*, foram discriminados os tipos de defeitos existentes e os correspondentes pesos relativos, tendo sido posteriormente realizada uma análise para distinção dos defeitos mais relevantes. Depois, com a utilização do diagrama de *Ishikawa* e de sessões de *brainstorming*, foram analisadas e registadas as causas dos defeitos determinados anteriormente. A lista de defeitos obtida foi filtrada, através da aplicação de uma matriz de prioridades, tendo-se obtido um conjunto de 4 causas representativas do surgimento de cerca de 24,5% do total de defeitos existentes. Na fase *Improve*, foram determinadas ações de melhoria com as quais se pudesse eliminar todas as causas de defeitos identificadas. Assim, a longo prazo, obter-se-á um estável aumento de 4% na OEE do processo de escolha, o que resulta num aumento de capacidade de produção horária de 313 parafusos (5,7%) e numa redução do nível de sucata de 2,36% para 1,78%, aumentando-se o nível sigma do processo de 3,47 para 3,60.

O conjunto de resultados obtidos com os eventos nº3 e nº4 resultam num aumento total da OEE do processo de escolha em 5,5% e num aumento de capacidade de produção horária de 7,7% (mais 430 parafusos processados por hora)

É possível afirmar que os objetivos inicialmente delineados para este projeto foram cumpridos, com sucesso. Com este projeto, obtiveram-se aumentos nas capacidades produtivas de duas máquinas e reduções dos custos de produção, satisfazendo os requisitos do cliente. Através da redução dos custos de produção, foi possível a negociação do custo de venda do produto MCS ao cliente, implicando vantagens para ambas as partes. Por motivos de confidencialidade, a quantificação desse resultado não poderá ser divulgado. Em suma, a tabela 5.1 resume a comparação entre as metas estabelecidas neste projeto e os resultados obtidos.

Tabela 5.1: Comparação entre as metas estabelecidas e os resultados obtidos no projeto.

Caraterística	Meta estabelecida	Resultado obtido
Tempo de mudança de ferramentas	- 20%	- 24%
Nível de <i>stock</i>	- 10%	- 10,75%
Coefficiente OEE na estampagem	+ 5%	+ 11%
Coefficiente OEE na escolha	+5%	+5,5%
Nível de sucata	- 0,5%	-0,58%

A última fase da metodologia utilizada no estudo de caso é de extrema importância, sendo crucial para garantir a manutenção dos KPI melhorados. Sendo que esta fase é uma etapa de duração indeterminada, pois só se poderá dar como concluída quando os novos métodos estiverem totalmente intrínsecos na organização e quando os KPI medidos demonstrarem uma forte estabilidade, não foi possível o acompanhamento desta fase, para efeitos da presente dissertação. No entanto, as propostas apresentadas, relativamente às tarefas que devem ser desempenhadas no futuro, garantirão a correta execução desta fase.

5.2. Limitações do estudo

O principal fator que constitui a grande limitação do estudo desenvolvido consiste na confidencialidade imposta pela empresa, relativamente à divulgação de informação que identifique a mesma. Nesse âmbito, teria sido importante um estudo mais aprofundado sobre a empresa e sobre o mercado onde está inserida, assim como o produto sobre o qual incide o estudo e o cliente para o qual o mesmo é vendido. A confidencialidade requerida para este projeto impediu também a análise de uma componente importante em projetos desta natureza – a análise dos ganhos financeiros. No entanto, é inegável a significância que este projeto teve para a organização, através da verificação dos ganhos obtidos já apresentados.

Por último, outra condicionante associada ao estudo desenvolvido centra-se na impossibilidade de acompanhamento da totalidade do projeto, visto que a metodologia utilizada requer uma fase de acompanhamento das melhorias implementadas (fase *Control*). Essa fase deve estar associada a uma duração considerável, até que se verifique estabilidade total nos novos métodos de trabalho aplicados, refletidos nas variáveis críticas do projeto. No entanto, para contornar esta limitação, sugerem-se tarefas a desempenhar no futuro, para assegurar o controlo das melhorias implementadas.

5.3. Contribuições

Teoricamente, esta dissertação fornece um conjunto de informações conciso e útil, relevante para a aplicação da filosofia *Lean Seis Sigma*, assim como as suas principais ferramentas, através da revisão bibliográfica efetuada. A aplicação do estudo de caso cimenta a eficiência e excelência do ciclo DMAIC, que se provou ser bastante útil para a implementação de ações de melhoria, quer ao nível de qualidade quer ao nível da eficácia e eficiência dos processos. Verificou-se, portanto, uma importante complementaridade entre o ciclo DMAIC e a filosofia *Lean Seis Sigma*. Para além disso, comprovou-se, também, a eficácia das ferramentas utilizadas para o cumprimento dos objetivos delineados em cada fase da metodologia aplicada.

Uma importante contribuição teórica, que pode advir da realização do estudo de caso, relaciona-se com a importância de utilização de várias ferramentas complementares em cada fase do ciclo DMAIC, colmatando as desvantagens de cada uma. Mais especificamente, dando como exemplo, demonstrou-se que o VSM é bastante útil para uma visão global de todo o fluxo produtivo, assim como para a representação e deteção dos KPIs relevantes para a implementação de ações de melhoria. No entanto, constataram-se algumas lacunas na sua aplicação, como a incapacidade de quantificar dessincronizações na produção, faltas de matéria-prima, paragens de linha, esforço humano e *layouts*. Então, a sua falta de dinamismo pode ser colmatada pela aplicação de outras ferramentas, existentes no âmbito da filosofia *Lean Seis Sigma*, como o diagrama de *Ishikawa*, a AMFE, a análise de *layouts*, etc.

Numa vertente mais prática, foram obtidos ganhos consideráveis com a aplicação de várias ferramentas *Lean Seis Sigma*, na empresa PSF. Os objetivos delineados para o projeto foram atingidos e demonstrou-se que a metodologia utilizada foi bastante eficaz para a sua obtenção. Como tal, este estudo de caso poderá contribuir para projetos similares, servindo como exemplo e podendo ser aplicado em qualquer empresa. Para isso, existe uma grande variedade de ferramentas a utilizar, consoante o tipo de problemas detetados e dependendo do tipo de produção ou serviço em análise.

5.4. Propostas para trabalhos futuros

Sendo a melhoria contínua e a busca da perfeição um processo interminável, a execução de um estudo não será suficiente para alcançar os objetivos globais da filosofia *Lean Seis Sigma*. Como tal, propõem-se alguns tópicos a desenvolver em trabalhos futuros na empresa PSF:

- Estudo geral do *layout* da fábrica, através da análise das movimentações dos produtos maioritariamente fabricados na empresa. Constata-se um fluxo de materiais algo complexo, no sentido de o material percorrer vários pavilhões ao longo do seu fluxo produtivo, não se adotando um fluxo sequencial e fluente.
- Implementação do sistema de cartões *Kanban* e de supermercados em larga escala, tanto no abastecimento entre o processo de decapagem e de estampagem, como no restante fluxo produtivo.
- Depois da implementação de melhorias ao nível da qualidade obtida, com as ações de melhoria sobre as principais causas de defeitos, propõe-se atingir um nível de qualidade superior, através de uma nova análise de tipos dos defeitos existentes, devidamente quantificados. Tal análise pode ser efetuada similarmente ao evento *Kaizen* nº4, realizado no presente projeto.
- Análise das causas relacionadas com a elevada percentagem de retrabalho no processo de escolha, visando a sua redução. Várias variáveis podem estar relacionadas com este problema, pelo que a sua definição será essencial para a sua posterior redução/eliminação.
- Perante algumas paragens de máquinas registadas devido a avarias, propõe-se a aplicação da ferramenta *Total Productive Maintenance*, de modo a obter um programa de manutenção preventiva, ao invés do atual programa de manutenção corretiva. Isto permitirá o aumento da disponibilidade das máquinas e consequente aumento da capacidade produtiva.

Referências bibliográficas

- Aase, G., Olson, J., Schniederjans, M., 2004. U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study. *European Journal of Operational Research*, 156 pp. 698-711.
- Ahmed, S., e Hassan, M., 2003. Survey and case investigations on application of quality management tools and techniques in SMIs. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 20 (7) pp. 795-826.
- Altekar, R., 2005. Supply Chain Management – Concepts and Cases. 1ª edição. New Delhi: *Prentice-Hall of India Private Limited*.
- Alvarez, R., e Antunes, J., 2001. Takt-Time: Conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. *Gestão & Produção*, 8 (1) pp. 1-18.
- Alves, A., Carvalho, J., Sousa, R., Moreira, F., e Lima, R., 2011. Benefits of Lean Management: Results from some industrial cases in Portugal. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18873/1/CLME2011AA_DC_RS_FM_R_L.pdf>, consultado pela última vez em 30-01-2013.
- Alves, A., Rocha, G., e Braga, F., 2008. Implementação de um sistema Pull numa linha de montagem de componentes electrónicos. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18864/1/CLME2011GR_AA_FB.pdf>, consultado pela última vez em 18-03-2013.

- Araújo, C., e Rentes, A., 2006. The Kaizen Methodology in the Conduction of Change Processes on Lean Manufacturing Systems. *Revista de Gestão Industrial*, 2 (2) pp. 126-135.
- Arnheiter, E., e Maleyeff, J., 2005. The integration of lean management and six sigma. *The TQM Magazine*, 17 (1) pp. 5-18.
- Bhasin, S., e Burcher, P., 2006. Lean viewed as a philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17 (1) pp. 56-72.
- Brue, G., 2005. Six Sigma for Managers – 24 lessons to understand and apply Six Sigma principles in any organization. New York: *McGraw-Hill*.
- Caffyn, S., 1999. Development of a continuous improvement self-assessment tool. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (11) pp.1138-1153.
- Cakmakci, M., 2009. Process improvement: performance analysis of the setup time reduction – SMED in the automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing*, 41 (1-2) pp. 168-179.
- Carvalho, J., 2010. Reengenharia de Processos na Indústria Farmacêutica. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Chakravorty, S., 2009. Six Sigma programs: An implementation model. *International Journal of Production Economics*, 119 pp. 1-16.
- Chen, J.C., Li, Y., e Shady, B.D., 2010. From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48 (4) pp. 1069-1086.
- Chen, Y., Li, K., Kilgour, D., e Hipel, K., 2008. A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis. *Computers & Operations Research*, 35 pp. 776-796.
- Chen, C.C., 2008. An objective-oriented and product-line-based manufacturing performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 112 pp. 380-390.
- Cimorelli, S., 2006. Kanban for the supply chain – Fundamental practices for manufacturing management. New York: *Productivity Press*.
- Cullen, P., Butcher, B., Hickman, R., Keast, J., e Valadez, M., 2005. The application of lean principles to in-service support. *Lean Construction Journal*, 2 (1) pp. 87-104.

- Devane, T., 2004. Integrating lean six sigma and high-performance organizations: leading the change toward dramatic, rapid and sustainable improvement. San Francisco: *Pfeiffer*.
- Drira, A., Pierreval, H., e Hajri-Gabouj, S., 2007. Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31 pp. 255-267.
- Feld, W., 2000. Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. Boca Raton: *St. Lucie Press*.
- Fursule, N., Bansod, S., e Fursule, S., 2012. Understanding the Benefits and Limitations of Six Sigma Methodology. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2 (1) pp. 1-9.
- Furterer, S., e Elshennawy, A., 2005. Implementation of TQM and Lean Six Sigma tools in local government: a framework and a case study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 16 (10) pp. 1179-1191.
- Ghinato, P., 2006. Jidoka: mais do que pilar da Qualidade. *Lean Way Consulting*. Disponível em http://media.wix.com/ugd/2eed20_3722740899b36896a9e5cef6f360687f.pdf?dn=jidoka%5B1%5D.pdf>, consultado pela última vez em 04-02-2013.
- Goffnett, S., 2004. Understanding Six Sigma: Implications for Industry and Education. *Journal of Industrial Technology*, 20 (4) pp. 1-10.
- Hagemeyer, C., Gershenson, J., e Johnson, D., 2006. Classification and application of problem solving quality tools: A manufacturing case study. *The TQM Magazine*, 18 (5) pp. 455-483.
- Hay, E.J., 1988. The Just-in-Time breakthrough: Implementing the new manufacturing basics. New York: *Wiley*.
- Hinckley, C., 2007. Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry. *Accredit Quality Assurance*, 12 (5) pp.223-230.
- Hirano, H., 2008. JIT Implementation Manual: The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing. 2ªedição. Boca Raton: *CRC Press*.
- Hirano, H., 1995. 5 Pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5S implementation. New York: *Productivity Press*.
- Ho, S.K., 1999. 5-S practice: The first step towards total quality management. *Total Quality Management*, 10 (3) pp. 345-356.

- Hopp, W.J., e Spearman, M.L., 2011. *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. 3ª edição. Illinois: *Waveland Press, Inc.*
- Hopp, W.J., e Spearman, M.L., 2004. To pull or not to pull: That's the question. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6 (2) pp. 133-148.
- Hunter, S., 2004. Ten Steps to Lean Production. *FDM Management*, 75 (17) pp. 20-23.
- Imai, M., 1986. *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. New York: *McGraw-Hill*.
- Kaplan, G., 2008. *Advanced Lean Thinking – Proven Methods to Reduce Waste and Improve Quality in Health Care*. Illinois: *Joint Commission on Accreditation of Health Care Organizations*.
- Khaswala, N., e Irani, A., 2001. Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps. Saint Louis: *Proceedings of the Lean Management Solutions Conference*.
- Kobayashi, K., Fisher, R., e Gapp, R., 2008. Business improvement strategy or useful tool? Analysis of the application of the 5S concept in Japan, the UK and the US. *Total Quality Management*, 19 (3) pp. 245-262.
- Krishnamurthy, A., Suri, R., e Vernon, M., 2004. Re-examining the performance of MRP and Kanban material control strategies for multi-product flexible manufacturing systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16 pp. 123-150.
- Kumar, C., e Panneerselvam, R., 2007. Literature review of JIT-KANBAN system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 pp. 393-408.
- Liker, J., e Meier, D., 2006. *The Toyota Way Fieldbook – A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. New York: *McGraw-Hill*.
- Liker, J., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. 1ª edição. New York: *McGraw-Hill*.
- Lima, M., e Zawislak, P., 2003. A produção enxuta como fator diferencial na capacidade de fornecimento de PMEs. *Revista Produção*, 13 (2) pp. 57-69.
- Linderman, K., Schroeder, R., Zaheer, S., e Choo, A., 2003. Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21 pp. 193-203.

- Machado, V.C., 2007. Perspectivas de Desenvolvimento da Produção Magra. 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, Cusco. Disponível em <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/25/25-25.pdf>>., consultado pela última vez em 23-01-2013.
- Maia, L., Alves, A., e Leão, C., 2011. Metodologias para implementar Lean Production: Uma revisão crítica de literatura. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18874?mode=full>>., consultado pela última vez em 30-01-2013.
- Marchwinski, C., Shook, J., e Schroeder, A., 2008. Lean Lexicon: a graphical glossary for Lean Thinkers. 4ª edição. Cambridge: *Lean Enterprise Institute*.
- Marques, P., Requeijo, J., Saraiva, P., e Frazão-Guerreiro, F., 2013. Integrating Six Sigma with ISO 9001. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4 (1) pp. 36-59.
- Marvel, J., e Standridge, C., 2009. A Simulation-Enhanced Lean Design Process. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2 (1) pp. 90-113.
- Mast, J., e Lokkerbol, J., 2012. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139 pp. 604-614.
- Melton, T., 2005. The benefits of lean manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83 (A6) pp. 662-673.
- Melton, T., 2004. To lean or not to lean? (that is the question). *The Chemical Engineer*, September 2004 (759) pp. 34-37.
- Mika, G., 2006. Kaizen Event Implementation Manual. 5ª edição. Michigan: *Society of Manufacturing Engineers*.
- Miles, E., 2006. Improvement in the incident reporting and investigation procedures using process excellence (DMAI²C) methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 130 pp. 169-181
- Mohd, Y., e Aspinwall, E., 2001. Case studies on the implementation of TQM in the UK automotive SMEs. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 18 (7) pp. 722-743.
- Monden, Y., 2012. Toyota Production System – An Integrated approach to Just-In-Time. 4ª edição. Boca Raton: *CRC Press*.

- Moreira, F., Alves, A.C., e Sousa, R.M., 2010. Towards Eco-efficient Lean Production Systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 322 pp. 100-108.
- Muchiri, P. e Pintelon, L., 2008. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46 (13) pp. 3517-3535.
- Nakajima, S., 1988. Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). 1ªedição. Cambridge: *Productivity Press*.
- Ohno, T., 1996. O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: *Bookman*.
- Osada, T., 1991. The 5S's: Five keys to a Total Quality Environment. Tokyo: *Asian Productivity Organization*.
- Paula, P. e Costa, V., 2009. A contribuição da implementação dos 5S para a melhoria contínua da qualidade num serviço de imagiologia – O estudo de caso no HFF. *Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia*, 6 pp. 20-33.
- Pereira, Z. L. e Requeijo, J. G., 2012. Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos. 2ªedição. Lisboa: FFCT.
- Raman, D., Nagalingam, S., e Lin, G., 2009. Towards measuring the effectiveness of a facilities layout. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25 pp. 191-203.
- Ross, G., 2013. The Spaghetti Diagram. *Leankaizen Ltd*. Disponível em <<http://www.leankaizen.co.uk/spaghetti-diagram.html>>, consultado pela última vez em 10-02-2013.
- Rother, M., e Shook, J., 2009. Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. 4ªedição. Cambridge: *Lean Enterprise Institute*.
- Samuel, H., Dismukes, J., Shi, J., Su, Q., Wang, G., Razzak, M., e Robinson, D., 2002. Manufacturing system modeling for productivity improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 21 (4) pp. 249-260.
- Schroeder, R., Linderman, K., Liedtke, C., e Choo, A., 2008. Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26 pp. 536-554.

- Shah, R., e Ward, P.T., 2007. Defining and Developing Measures of Lean Production. *Journal of Operations Management*, 25 (4) pp. 785-805.
- Shingo, S., 1985. A revolution in manufacturing: the SMED system. Cambridge: *Productivity Press*.
- Silva, C., Tantardini, M., Staudacher, A., e Salviano, K., 2010. Lean Production Implementation: A survey in Portugal and a comparison of results with Italian, UK and USA companies. *Proceedings of 17th International Annual EurOMA Conference – Managing Operations in Service Ergonomics*, pp. 6-9.
- Silveira, A., e Coutinho, H., 2008. Trabalho padronizado: a busca por eliminação de desperdícios. *Revista INICIA*, 8 pp. 8-16.
- Singh, B., e Khanduja, D., 2010. SMED: For quick changeovers in foundry SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59 (1) pp. 98-116.
- Smith, B., 2003. Lean and six sigma: a one-two punch. *Quality Progress*, 36 (4) pp. 37-41.
- Stamatis, D.H., 2003. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2ª edição. Milwaukee: *American Society of Quality*.
- Sugay, M., McIntosh, R., e Novaski, O., 2009. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): Análise crítica e estudo de caso. *Gestão da Produção*, 14 (2) pp. 323-335.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., e Uchikawa, S., 1977. Toyota Production System and kanban system: materialization of just in time and respect for human system. *International Journal of Production Research*, 15 (16) pp. 553-564.
- Suzaki, K., 2010. Gestão de Operações Lean: Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua. 1ª edição. Mansores: *LeanOp*.
- Swank, K., 2003. The lean service machine. *Harvard Business Review*, October, pp 1-8.
- Taghizadegan, S., 2006. Essentials of Lean Six Sigma. 1ª edição. Oxford: *Elsevier Inc.*.
- Takeuchi, H., Osono, E., e Shimizu, N., 2008. The contradictions that drives Toyota's success. *Harvard Business Review*, June, pp. 98-104.
- Tannock, J., Krasachol, L., e Ruangpermpool, S., 2002. The development of total quality management in Thai manufacturing SMEs: a case study approach. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 19 (4) pp. 380-395.

- Tannock, J., e Krasachol, L., 1999. A study of TQM implementation in Thailand. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 16 (5) pp. 418-432.
- The Productivity Press Development Team, 2002. Kanban for the Shopfloor. New York: *Productivity Press*.
- Tripp, R., 2010. Kaizen and Six Sigma Together in the Quest for Lean. Six Sigma Advantage. Disponível em: <http://www.isixsigma.com/methodology/kaizen/kaizen-and-six-sigma-together-quest-lean>>, consultado pela última vez em 4-02-2013.
- Tsarouhas, P., 2012. Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study. *International Journal of Production Research*, 51 (2) pp. 515-523.
- Werkema, C., 2006. Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: *Werkema Editora*.
- Werkema, C., 2004. Criando a Cultura Seis Sigma. Belo Horizonte: *Werkema Editora*.
- Womack, J.P., Jones, D.T., e Roos, D., 2007. The Machine That Changed The World: The Story of Lean Production. 2ªedição. New York: *Free Press*.
- Womack, J.P., e Jones, D.T., 2003. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2ªedição. New York: *Free Press*.
- Worley, J.M., e Doolen, T.L., 2006. The role of communication and management support in lean manufacturing. *Management Decision*, 44 (2) pp. 228-245.
- Yin, R., 2009. Case Study Research: Design and Methods. 4ªedição. California: *SAGE Publications*.
- Zu, X., Robbins, T. e Fredendall, L., 2010. Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices. *International Journal of Production Economics*, 123 pp. 86-106.
- Zu, X., Fredendall, L., e Douglas, T., 2008. The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma. *Journal of Operations Management*, 26 pp. 630-650.

ANEXOS

Anexo A – Registo histórico dos *Key Performance Indicators*

▪ Histórico do tempo de mudança de ferramentas

Na tabela A.1 e na figura A.1, está representada a média mensal dos tempos de mudança de ferramentas registados na máquina de estampagem responsável pelo produto MCS. No entanto, os tempos representados não estão exclusivamente associados à mudança para a referência do produto em estudo, visto que a produção da máquina é mais abrangente. Para a medição do KPI pretendido e respetiva representação na fase *Measure* do ciclo DMAIC, foi necessária uma nova medição da mudança de ferramentas específica para o fluxo produtivo estudado.

Tabela A.1: Histórico do tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem.

	Tempo de mudança de ferramentas na estampagem (min)	Comentários
Janeiro 2012	330	
Fevereiro 2012	-	Registo de dados incompleto
Março 2012	360	
Abril 2012	480	
Maio 2012	-	Sem mudança
Junho 2012	540	
Julho 2012	420	
Agosto 2012	-	Sem mudança
Setembro 2012	-	Sem mudança
Outubro 2012	480	
Novembro 2012	-	Sem mudança
Dezembro 2012	300	
Média	416	

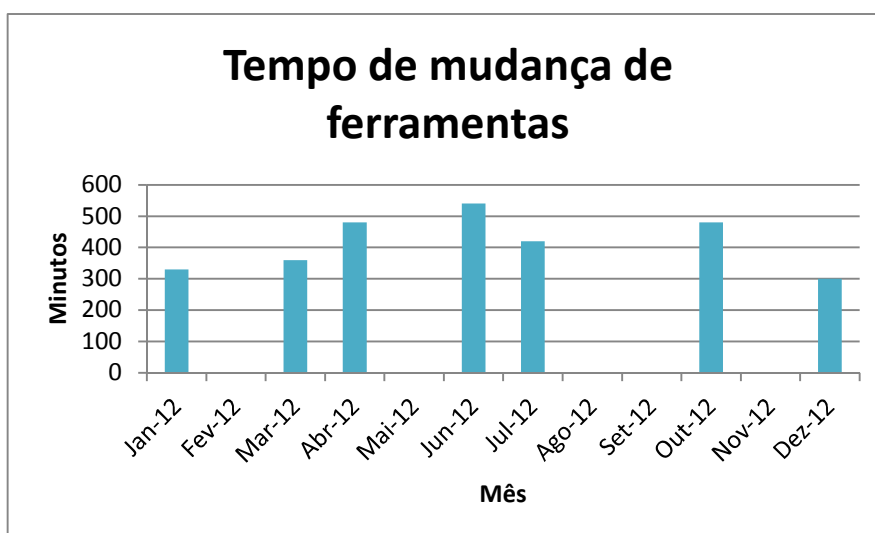


Figura A.1: Histórico do tempo de mudança de ferramentas na máquina de estampagem.

▪ Histórico do nível de *stock*

Na tabela A.2 e na figura A.2, está representada a média mensal das quantidades de *stock* registadas após um processo componentes do fluxo produtivo do produto MCS – a decapagem. É de referir que o *stock* existente após este processo é constituído por bobines, sendo que esse valor foi convertido para parafusos, para um melhor análise comparativa (1 bobine equivale a uma produção de cerca de 200 mil parafusos). O valor médio obtido foi utilizado para a representação do VSM.

Tabela A.2: Histórico do nível de *stock* associado ao produto MCS.

	Após decapagem (peças)	Comentários
Janeiro 2012	170.000	
Fevereiro 2012	675.300	
Março 2012	928.000	
Abril 2012	848.200	
Maio 2012	700.000	
Junho 2012	3.077.700	
Julho 2012	-	Registo de dados incompleto
Agosto 2012	646.300	
Setembro 2012	-	Registo de dados incompleto
Outubro 2012	983.300	
Novembro 2012	1.204.700	
Dezembro 2012	758.900	
Média	999.240	

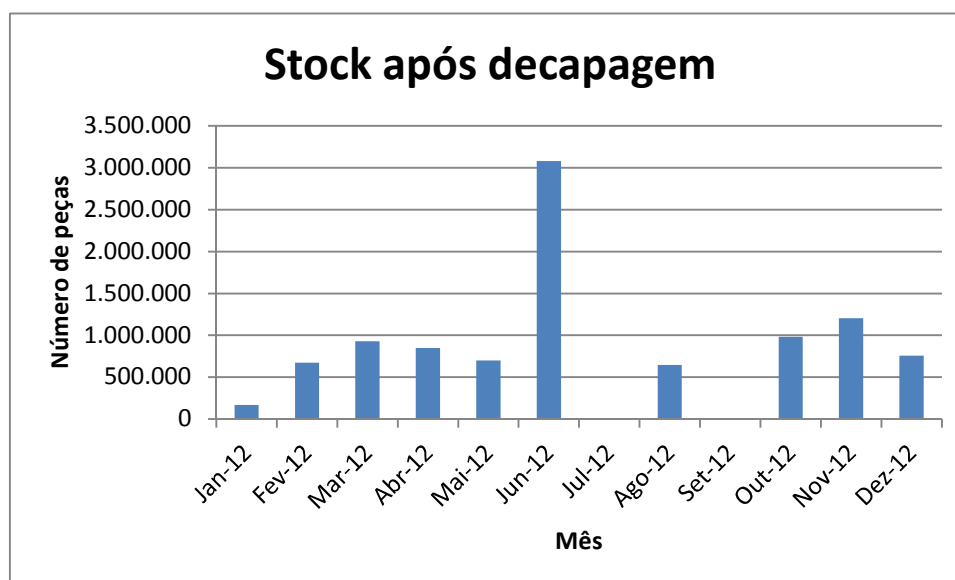


Figura A.2: Histórico do nível de *stock* após a decapagem e associado ao produto MCS.

▪ Histórico do nível de sucata

Na tabela A.3 e na figura A.3, estão representados os valores médios mensais do nível de sucata detetada no processo de escolha. A média obtida foi o valor considerado para a representação do VSM e para o cálculo do nível sigma do processo.

Tabela A.3: Histórico do nível de sucata no processo de escolha associado ao produto MCS.

	Produção total (parafusos)	Produtos não conforme	Sucata detetada na escolha (%)
Janeiro 2012	1.748.442	25.523	1,46
Fevereiro 2012	1.522.720	28.511	1,87
Março 2012	1.187.326	36.238	3,05
Abril 2012	1.596.261	38.720	2,43
Maio 2012	1.980.562	45.416	2,29
Junho 2012	1.609.929	50.205	3,12
Julho 2012	2.360.107	52.261	2,21
Agosto 2012	1.794.358	50.069	2,79
Setembro 2012	296.103	5.046	1,70
Outubro 2012	2.383.108	67.207	2,82
Novembro 2012	965.334	16.683	1,73
Dezembro 2012	286.959	3.110	1,08
Total anual	17.731.209	418.989	2,36

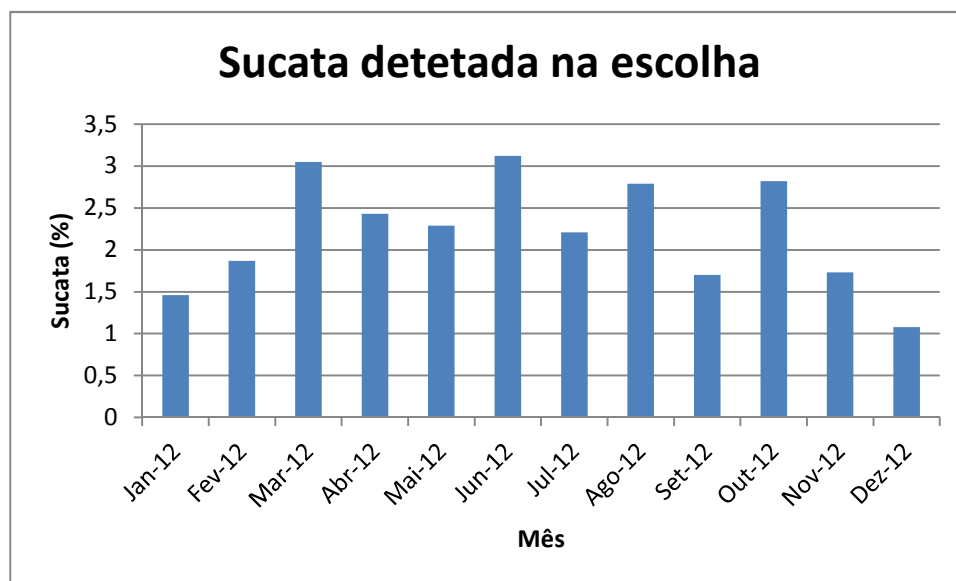


Figura A.3: Histórico do nível de sucata na escolha e associado ao produto MCS.

▪ Histórico do nível de OEE

Na tabela A.4 e nas figuras A.4 e A.5 estão representados os níveis de OEE medidos no processo de estampagem e no processo de escolha, associados ao fluxo produtivo do produto MCS. As médias obtidas foram os valores utilizados na representação do VSM do fluxo produtivo do produto MCS. Para o cálculo da média, não foram considerados os valores mensais resultantes de causas especiais.

Tabela A.4: Histórico do nível de OEE na estampagem e na escolha associado ao produto MCS.

	OEE na estampagem (%)	OEE na escolha (%)	Comentários
Janeiro 2012	43	64	Registo de dados incompleto
Fevereiro 2012	-	70	Paragem planeada na estampagem
Março 2012	-	60	Paragem planeada na estampagem
Abril 2012	50	66	Disponibilidade baixa devido a mudança de ferramentas
Maio 2012	70	60	-
Junho 2012	10	73	Registadas perdas na estampagem devido a mudança de ferramentas
Julho 2012	102	75	-
Agosto 2012	84	81	-
Setembro 2012	76	64	Menos um operador na escolha, devido a férias
Outubro 2012	71	79	-
Novembro 2012	46	70	Registado um erro de fornecimento de ferramentas na estampagem
Dezembro 2012	70	70	-
Média	67	69,8	

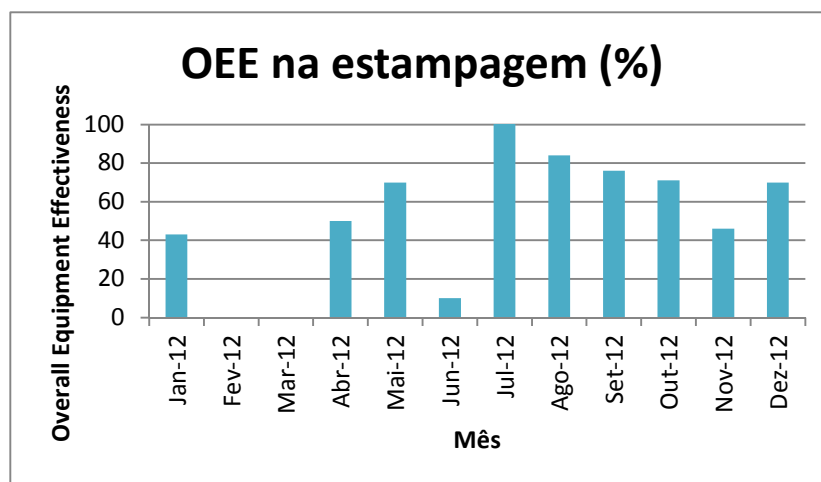


Figura A.4: Histórico do nível de OEE na estampagem e associado ao produto MCS.

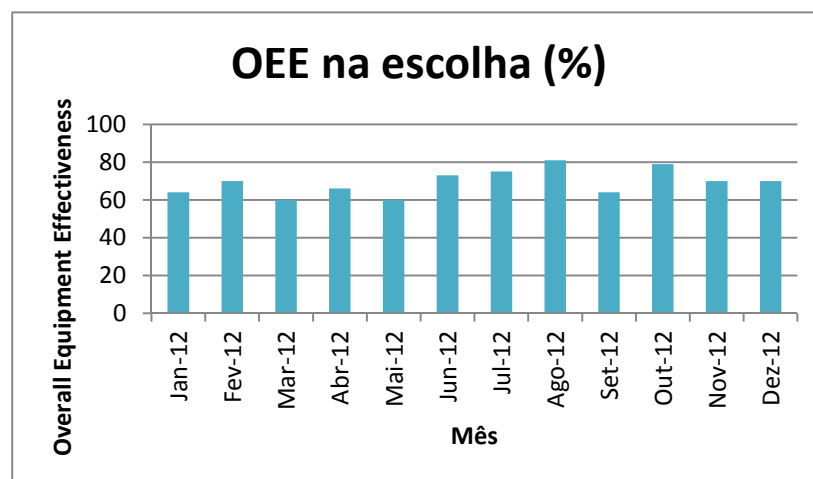


Figura A.5: Histórico do nível de OEE na escolha e associado ao produto MCS

Anexo B – Matriz de prioridades

Tendo em consideração que as alternativas já estão definidas, sendo elas todas as causas dos 3 tipos de defeito em estudo, já determinadas, apenas falta a definição dos critérios com os quais serão analisadas essas mesmas alternativas. Nesse sentido, apresentam-se as listas de alternativas e de critérios definidos, para a realização da matriz de prioridades.

a) Lista de causas de problemas (alternativas)

X_1 - Heterogeneidade da matéria-prima;

X_2 – Temperatura baixa sobre a qual está exposta a matéria-prima;

X₃ – Falta de lubrificação;

X₄ – Número reduzido de golpes de estampagem (e consequente necessidade de força elevada);

X₅ – Elevado nível de vibrações na estampagem;

X₆ – Velocidade de puxo da matéria-prima no *input* da estampagem;

X₇ – Fricção elevada no *input* da estampagem quando a bobine está completa;

X₈ – Desgaste da ferramenta de estampagem;

X₉ – Manuseamento dos produtos na logística interna e nos processos de TT e TS;

b) Lista de critérios de avaliação

A – Facilidade de implementação de melhorias;

B – Custo financeiro relativo à implementação de melhorias;

C – Tempo necessário para a implementação de melhorias;

D – Frequência de ocorrência do problema;

c) Ponderação das alternativas e critérios

Estando já as alternativas e os critérios definidos, é necessária a definição da ponderação a utilizar. Esta ponderação, assim como todo o processo de atribuição de valores de priorização executado na aplicação desta ferramenta, foi definida em conjunto por todos os intervenientes do projeto. Foi definida a escala representada na tabela B.1, podendo-se assim distinguir a importância relativa entre as alternativas e os critérios.

Tabela B.1: Ponderação a utilizar para as alternativas e critérios.

1	A mesma importância
5	Mais importante do que a alternativa
10	Muito mais importante do que a alternativa
0,2	Menos importante do que a alternativa
0,1	Muito menos importante do que a alternativa

Após a definição da ponderação, é possível prosseguir com a priorização dos critérios, a qual é executada na tabela B.2

Tabela B.2: Matriz de prioridades dos critérios.

	A	B	C	D	Total	Ponderação
A	-	0,1	0,2	0,2	0,5	1,52%
B	10	-	5	5	20	60,79%
C	5	0,2	-	1	6,2	18,85%
D	5	0,2	1	-	6,2	18,85%
Total	20	0,5	6,2	6,2	32,9	100,00%

Como se pode verificar pela tabela 5.5, o critério relativo ao custo financeiro de implementação (B) é o que toma maior relevância, sendo que a facilidade de implementação (A) é o critério menos relevante para a decisão de quais as ações prioritárias a curto prazo. Assim, são representadas as matrizes de prioridades que comparam a importância de todas as alternativas, tendo como base cada critério (tabelas B.3-B.6).

Tabela B.3: Matriz de prioridades para facilidade de implementação de melhorias.

	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	X₆	X₇	X₈	X₉	Total	Ponderação
X₁	-	1	0,2	0,2	5	0,2	0,2	1	5	12,8	6,58%
X₂	1	-	0,2	0,2	5	0,2	0,2	1	5	12,8	6,58%
X₃	5	5	-	1	10	1	1	5	10	38	19,55%
X₄	5	5	1	-	10	1	1	5	10	38	19,55%
X₅	0,2	0,2	0,1	0,1	-	0,1	0,1	0,2	1	2	1,03%
X₆	5	5	1	1	10	-	1	5	10	38	19,55%
X₇	5	5	1	1	10	1	-	5	10	38	19,55%
X₈	1	1	0,2	0,2	5	0,2	0,2	-	5	12,8	6,58%
X₉	0,2	0,2	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,2	-	2	1,03%
Total	22,4	22,4	3,8	3,8	56	3,8	3,8	22,4	56	194,4	100,00%

Verifica-se que as alternativas 3, 4, 6 e 7 são as que representam maior relevância, quando se tem por base a facilidade de implementação de melhorias. As alternativas 5 e 9 são as que têm associadas menor ponderação com este critério.

Tabela B.4: Matriz de prioridades para minimização do custo financeiro de implementação de melhorias.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Total	Ponderação
X ₁	-	0,1	0,1	1	1	1	0,1	0,1	0,2	3,6	1,58%
X ₂	10	-	1	10	10	10	1	1	5	48	21,13%
X ₃	10	1	-	10	10	10	1	1	5	48	21,13%
X ₄	1	0,1	0,1	-	1	1	0,1	0,1	0,2	3,6	1,58%
X ₅	1	0,1	0,1	1	-	1	0,1	0,1	0,2	3,6	1,58%
X ₆	1	0,1	0,1	1	1	-	0,1	0,1	0,2	3,6	1,58%
X ₇	10	1	1	10	10	10	-	1	5	48	21,13%
X ₈	10	1	1	10	10	10	1	-	5	48	21,13%
X ₉	5	0,2	0,2	5	5	5	0,2	0,2	-	20,8	9,15%
Total	48	3,6	3,6	48	48	48	3,6	3,6	20,8	227,2	100,00%

Tendo como base o critério mais relevante (custo financeiro de implementação de melhorias), verifica-se que as alternativas que apresentam maior ponderação são as alternativas 2, 3, 7 e 8. Por outro lado, as alternativas 1, 4, 5 e 6 obtiveram um valor pouco relevante.

Tabela B.5: Matriz de prioridades para minimização do tempo de implementação de melhorias.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Total	Ponderação
X ₁	-	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	5	5	12,8	6,58%
X ₂	1	-	0,2	0,2	1	0,2	0,2	5	5	12,8	6,58%
X ₃	5	5	-	1	5	1	1	10	10	38	19,55%
X ₄	5	5	1	-	5	1	1	10	10	38	19,55%
X ₅	1	1	0,2	0,2	-	0,2	0,2	5	5	12,8	6,58%
X ₆	5	5	1	1	5	-	1	10	10	38	19,55%
X ₇	5	5	1	1	5	1	-	10	10	38	19,55%
X ₈	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	-	1	2	1,03%
X ₉	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	1	-	2	1,03%
Total	22,4	22,4	3,8	3,8	22,4	3,8	3,8	56	56	194,4	100,00%

As alternativas 3, 4, 6 e 7 são as que aparentam ter menor tempo de implementação de melhorias, de acordo com os valores relativos atribuídos pelos intervenientes do projeto.

Tabela B.6: Matriz de prioridades para frequência de ocorrência do problema.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Total	Ponderação
X ₁	-	1	5	1	1	1	5	0,2	0,2	14,4	8,55%
X ₂	1	-	5	1	1	1	5	0,2	0,2	14,4	8,55%
X ₃	0,2	0,2	-	0,2	0,2	0,2	1	0,1	0,1	2,2	1,31%
X ₄	1	1	5	-	1	1	5	0,2	0,2	14,4	8,55%
X ₅	1	1	5	1	-	1	5	0,2	0,2	14,4	8,55%
X ₆	1	1	5	1	1	-	5	0,2	0,2	14,4	8,55%
X ₇	0,2	0,2	1	0,2	0,2	0,2	-	0,1	0,1	2,2	1,31%
X ₈	5	5	10	5	5	5	10	-	1	46	27,32%
X ₉	5	5	10	5	5	5	10	1	-	46	27,32%
Total	14,4	14,4	46	14,4	14,4	14,4	46	2,2	2,2	168,4	100,00%

Por fim, as alternativas 8 e 9 obtiveram uma ponderação significativamente maior que as restantes, quando se tem por base a frequência de ocorrência do problema, enquanto as alternativas 3 e 7 apresentam valores mais reduzidos. Com os valores obtidos com as matrizes de prioridades apresentadas, prossegue-se com o resumo dos coeficientes de ponderação das alternativas por critério, apresentados na tabela B.7. Estes coeficientes são extraídos diretamente das matrizes de prioridades efetuadas.

Tabela B.7: Coeficientes de ponderação das alternativas por critério.

	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	X₆	X₇	X₈	X₉
A	6,58%	6,58%	19,55%	19,55%	1,03%	19,55%	19,55%	6,58%	1,03%
B	1,58%	21,13%	21,13%	1,58%	1,58%	1,58%	21,13%	21,13%	9,15%
C	6,58%	6,58%	19,55%	19,55%	6,58%	19,55%	19,55%	1,03%	1,03%
D	8,55%	8,55%	1,31%	8,55%	8,55%	8,55%	1,31%	27,32%	27,32%

Multiplicando os valores apresentados na tabela B.7 com os respetivos valores de ponderação apresentados na matriz de prioridades dos critérios (tabela B.2), obtêm-se os valores que permitem elaborar a matriz de prioridades final (tabela B.8), onde se comparam as alternativa e os critérios. Através desta tabela, podem-se priorizar as alternativas mais prioritárias, sobre as quais devem incidir ações de melhoria de curto prazo.

Tabela B.8: Matriz de prioridades de comparação entre alternativas e critérios.

	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	X₆	X₇	X₈	X₉
A	0,10%	0,10%	0,30%	0,30%	0,02%	0,30%	0,30%	0,10%	0,02%
B	0,96%	12,85%	12,85%	0,96%	0,96%	0,96%	12,85%	12,85%	5,56%
C	1,24%	1,24%	3,69%	3,69%	1,24%	3,69%	3,69%	0,19%	0,19%
D	1,61%	1,61%	0,25%	1,61%	1,61%	1,61%	0,25%	5,15%	5,15%
Importância	3,91%	15,8%	17,09	6,56%	3,83%	6,56%	17,09	18,29	10,92

Anexo C – *Single Minute Exchange of Die*

Neste anexo, são apresentadas as tabelas (C.2-C.7) referentes à aplicação da ferramenta SMED, seguindo a metodologia de Shingo (1985). É representada a discriminação das tarefas inerentes à mudança de ferramentas na máquina de estampagem, assim como os tempos de duração a que estão associados e a classificação de cada tarefa em *setup* interno e *setup* externo. Foi também registada a distância percorrida ao longo do desempenho de cada tarefa, o tipo de desperdício a que está associada e comentários úteis para a melhoria de cada tarefa. Todas as tarefas registadas e os valores medidos

foram obtidos através da gravação audiovisual desse mesmo processo, com posterior visualização e análise.

As tabelas apresentadas estão apresentadas consoante o período em que a análise foi feita – antes e depois da implementação de melhorias. As melhorias foram efetuadas através da eliminação de tarefas desnecessárias, conversão de *setups* internos em *setups* externos e redução de desperdícios através da melhoria na gestão visual. Os ganhos obtidos com a aplicação desta ferramenta estão representados na tabela C.1.

Tabela C.1: Ganhos obtidos com a implementação de melhorias na mudança de ferramentas.

	Antes da implementação de melhorias	Depois da implementação de melhorias	Variação
Tempo de <i>setup</i> interno	03:53:30	02:58:53	-23,39%
Tempo de <i>setup</i> externo	00:00:00	00:13:35	-
Tempo de <i>setup</i> acumulado	03:53:30	02:59:50	-22,98%
Distância percorrida (metros)	644	233	-63,82%

▪ SMED – Antes de implementação de melhorias

Tabela C.2: Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (1).

Nº	Atividade	Registro do estado atual				Análise de tempo por tipo de <i>setup</i>		Tipo de desperdício	Comentários
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo		
0	Início da troca	00:00:00	-	-	-	00:00:00	00:00:00	-	
1	Máquina parada – preparação das condições iniciais	00:00:20	X	-	0	00:00:20	00:00:00	Necessário	
2	Desapertar parafuso do <i>transfer</i> ; montagem do braço do <i>transfer</i>	00:01:06	X	-	0	00:01:06	00:00:00	Necessário	Um parafuso apenas.
3	Buscar pano de limpeza	00:01:15	X	-	2	00:01:15	00:00:00	Movimento	Sem lugar para colocar o pano na máquina.
4	Limpeza do bloco da máquina com o pano	00:01:44	X	-	2	00:01:44	00:00:00	Sobreprocessamento	Atividade que pode ser eliminada.
5	Colocar pano sujo no local definido no carro	00:01:52	X	-	2	00:01:52	00:00:00	Movimento	Sem lugar para colocar o pano na máquina.
6	Escolha da ferramenta certa na gamela verde	00:01:57	X	-	0	00:01:57	00:00:00	Espera	Falta de implementação de 5S.
7	Desapertar parafusos das pinças do <i>transfer</i>	00:04:07	X	-	1	00:04:07	00:00:00	Necessário	Pode eliminar-se o movimento.
8	Desapertar porcas e parafusos dos punções e retirada dos punções e matrizes	00:08:35	X	-	5	00:08:35	00:00:00	Necessário	Ferramenta otimizada. Parafusos <i>standard</i> .
9	Recuar limitador de top de arame para ter espaço para tirar as peças do corte da referência anterior e montagem da nova	00:09:05	X	-	0	00:09:05	00:00:00	Necessário	Volante manual pouco ergonômico.
10	Desapertar parafusos do corte	00:10:30	X	-	0	00:10:30	00:00:00	Necessário	

Tabela C.3: Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (2).

Nº	Atividade	Registro do estado atual				Análise de tempo por tipo de <i>setup</i>		Tipo de desperdício	Comentários
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo		
11	Abrir depósito da massa e deixar esvaziar	00:11:50	X	-	15	00:11:50	00:00:00	Necessário	Deixar a chave necessária para abrir a lata junto à trefiladora. Ajuda de outro colaborador será útil.
12	Retirar rodas de puxo de arame	00:13:25	X	-	16	00:13:25	00:00:00	Necessário	Usar parafusadora pneumática
13	Encontrar íman	00:13:55	X	-	22	00:13:55	00:00:00	Movimento	
14	Retirar suplementos dos punções	00:14:25	X	-	0	00:14:25	00:00:00	Necessário	
15	Pedido de suporte de punções	00:17:30	X	-	22	00:17:30	00:00:00	Movimento	
16	Baixar cunhas para o ponto mínimo	00:19:50	X	-	0	00:19:50	00:00:00	Necessário	
17	Ir buscar pistola de ar comprimido	00:20:36	X	-	6	00:20:36	00:00:00	Movimento	
18	Limpar máquina	00:21:40	X	-	0	00:21:40	00:00:00	Necessário	
19	Retirar suplemento	00:23:50	X	-	0	00:23:50	00:00:00	Retrabalho	
20	Ir até à fieira já vazia, retirá-la e colocar a nova	00:28:00	X	-	11	00:28:00	00:00:00	Necessário	
21	Limpeza da ferramenta da referência anterior	00:31:30	X	-	12	00:31:30	00:00:00	Necessário	Fazer depois da mudança estar completa
22	Secar e garantir limpeza da ferramenta	00:42:00	X	-	2	00:42:00	00:00:00	Necessário	Fazer depois da mudança estar completa
23	Deixar rodas de puxo da referência anterior e pegar nas novas	00:43:00	X	-	4	00:43:00	00:00:00	Transporte	Fazer depois da mudança estar completa
24	Montagem do sistema de corte no torno de bancada	00:46:00	X	-	0	00:46:00	00:00:00	Necessário	
25	Pegar nas rodas de puxo de arame	00:47:00	X	-	4	00:47:00	00:00:00	Transporte	Transformar em externo
26	Montagem das rodas	00:48:40	X	-	0	00:48:40	00:00:00	Necessário	
27	Espera pela recuperação da peça do corte que caiu à máquina	00:50:04	X	-	0	00:50:04	00:00:00	Retrabalho	
28	Montagem do corte e das matrizes	00:56:05	X	-	6	00:56:05	00:00:00	Necessário	
29	Montagem dos suplementos e cunha (2 vezes)	00:57:43	X	-	8	00:57:43	00:00:00	Transporte	Colocar a caixa com as ferramentas na máquina

Tabela C.4: Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (3).

Nº	Atividade	Registo do estado atual				Análise de tempo por tipo de <i>setup</i>		Tipo de desperdício	Comentários
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo		
30	Recolha e montagem das punções	01:00:00	X	-	3	01:00:00	00:00:00	Transporte	
31	Colocação das pinças do <i>transfer</i>	01:04:06	X	-	4	01:04:06	00:00:00	Transporte	Desperdício das viagens realizadas
32	Aperto e calibração das pinças	01:07:34	X	-	17	01:07:34	00:00:00	Necessário	Ferramenta otimizada
33	Montagem do suporte que deveria estar na máquina	01:12:11	X	-	0	01:12:11	00:00:00	Retrabalho	Não necessário se <i>stock</i> de suportes estiver em condições
34	Pausa	01:17:32	X	-	50	01:17:32	00:00:00	Espera	
35	Montagem do guia de transporte de parafusos	01:18:22	X	-	4	01:18:22	00:00:00	Necessário	
36	Montagem e afinação do punção	01:19:04	X	-	0	01:19:04	00:00:00	Retrabalho	
37	Ajuste do comprimento requerido para a referência nova	01:23:45	X	-	1	01:23:45	00:00:00	Necessário	
38	Ligação da máquina e afinação do punção	01:25:49	X	-	0	01:25:49	00:00:00	Necessário	
39	Afinações diversas	01:29:24	X	-	0	01:29:24	00:00:00	Necessário	
40	Passar arame na trefiladora e apontar à máquina	01:33:52	X	-	6	01:33:52	00:00:00	Necessário	
41	Afinação do corte de arame e do aperto do <i>transfer</i>	01:42:00	X	-	2	01:42:00	00:00:00	Necessário	
42	Continuação das afinações	02:07:30	X	-	2	02:07:30	00:00:00	Necessário	
43	Controlo de qualidade das peças; aperto final (projeto de perfis)	02:09:30	X	-	20	02:09:30	00:00:00	Necessário	
44	Início de preparação da ferramenta de roscar	02:09:30	X	-	4	02:09:30	00:00:00		
45	Desapertar parafusos pneumáticos	02:19:30	X	-	8	02:19:30	00:00:00		
46	Procurar ferramenta (lâmina de medição digital)	02:22:30	X	-	50	02:22:30	00:00:00		Transformar em externo
47	Fixação das brocas	02:24:00	X	-	12	02:24:00	00:00:00		Transformar em externo
48	Montagem das brocas	02:25:30	X	-	6	02:25:30	00:00:00		

Tabela C.5: Fase preliminar e fase 1 da aplicação da ferramenta SMED (4).

Nº	Atividade	Registo do estado atual				Análise de tempo por tipo de <i>setup</i>		Tipo de desperdício	Comentários
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo		
49	Desaperto de parafusos	02:29:30	X	-	6	02:29:30	00:00:00		Ferramenta otimizada
50	Procura ferramenta	02:38:30	X	-	35	02:38:30	00:00:00		Transformar em externo
51	Desaperto de parafusos	02:40:00	X	-	0	02:40:00	00:00:00		Ferramenta otimizada
52	Desaperto de parafusos	02:41:30	X	-	6	02:41:30	00:00:00		Ferramenta otimizada
53	Limpeza de peças	02:42:30	X	-	4	02:42:30	00:00:00		Realizar após a mudança
54	Montagem de ferramenta pequena e limpeza de peças	02:45:30	X	-	12	02:45:30	00:00:00		
55	Procura de peças suplentes	02:47:30	X	-	26	02:47:30	00:00:00		Transformar em externo
56	Montagem	02:48:30	X	-	6	02:48:30	00:00:00		
57	Preparação de ferramentas	02:49:30	X	-	6	02:49:30	00:00:00		
58	Montagem	02:51:30	X	-	0	02:51:30	00:00:00		
59	Procura de parafusos e de peças suplentes	02:55:30	X	-	25	02:55:30	00:00:00		Transformar em externo
60	Montagem de ferramenta de roscagem	02:56:30	X	-	4	02:56:30	00:00:00		
61	Fixação de parafusos grandes	03:01:30	X	-	0	03:01:30	00:00:00		
62	Procura de ferramentas	03:02:30	X	-	22	03:02:30	00:00:00		Transformar em externo
63	Montagem	03:06:30	X	-	11	03:06:30	00:00:00		
64	Procura de ferramentas	03:07:30	X	-	8	03:07:30	00:00:00		Transformar em externo
65	Teste da montagem	03:08:30	X	-	54	03:08:30	00:00:00		
66	Procura de ferramenta	03:23:30	X	-	37	03:23:30	00:00:00		Encontrada noutra máquina; Transformar em externo
67	Montagem	03:27:30	X	-	0	03:27:30	00:00:00		
68	Fixação pneumática	03:32:30	X	-	4	03:32:30	00:00:00		
69	Fecho da porta traseira	03:33:30	X	-	0	03:33:30	00:00:00		
70	Procura de bitola	03:34:30	X	-	0	03:34:30	00:00:00		Transformar em externo
71	Testes	03:40:30	X	-	4	03:40:30	00:00:00		
72	Aprovação interna de qualidade	03:50:30	X	-	15	03:50:30	00:00:00		
73	Aprovação externa de qualidade	03:53:30	X	-	30	03:53:30	00:00:00		

▪ SMED – Depois da implementação de melhorias

Tabela C.6: Fase 2 e fase 3 da aplicação da ferramenta SMED (1).

Nº	Atividade	Registo do estado atual				Análise de tempo por tipo de setup		Operador
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo	
0	Início da troca	00:00:00	-	-	-	00:00:00	00:00:00	-
1	Fechar OF anterior e abrir seguinte	00:00:57	-	X	0	00:00:00	00:00:57	B
2	Limpeza da máquina (prensa) – parte 1	00:02:13	X	-	0	00:01:16	00:00:57	A
3	Limpeza da máquina (ponteadora e roscadora)	00:12:15	-	X	0	00:01:16	00:12:15	B
4	Abrir ar comprimido para saída auxiliar da prensa	00:02:35	X	-	10	00:01:38	00:12:15	A
5	Limpeza da máquina (prensa) – parte 2	00:05:00	X	-	0	00:04:03	00:12:15	A
6	Desmontar e montar rodas – parte 1	00:05:50	X	-	0	00:04:53	00:12:15	A
7	Retirar ponta de arame das rodas (referência anterior)	00:06:15	X	-	3	00:05:18	00:12:15	A
8	Desmontar e montar rodas – parte 2	00:07:25	X	-	0	00:06:28	00:12:15	A
9	Colocar tabuleiro vazio na máquina	00:07:35	X	-	0	00:06:38	00:12:15	A
10	Puxar tope de material para trás	00:07:52	X	-	0	00:06:55	00:12:15	A
11	Retirar toda a ferramenta da referência anterior e colocá-la no tabuleiro	00:16:25	X	-	0	00:15:28	00:12:15	A
12	Lavar a fundo o corte e blocos de matrizes e punções	00:17:00	X	-	0	00:16:03	00:12:15	A
13	Limpeza do chão com produto de limpeza	00:18:20	-	X	0	00:16:03	00:13:35	B
14	Trazer tabuleiro da ref. anterior para o carro de apoio	00:17:20	X	-	0	00:16:23	00:13:35	A
15	Montar peça fixa do corte da ref. seguinte	00:18:10	X	-	3	00:17:13	00:13:35	A
16	Levar tabuleiro da ref. seguinte para a máquina	00:18:30	X	-	3	00:17:33	00:13:35	A
17	Colocar corte móvel e fixo na máquina	00:20:05	X	-	0	00:19:08	00:13:35	A
18	Colocar restante ferramenta da ref. seguinte na máquina	00:31:25	X	-	0	00:30:28	00:13:35	A
19	Colocar dedos e afiná-los com calibres	00:36:25	X	-	0	00:35:28	00:13:35	A
20	Trazer tabuleiro de ferramentas vazio pelo carro de apoio	00:36:40	X	-	0	00:35:43	00:13:35	A
21	Trocar fieira da ref. anterior para o carro de apoio	00:37:40	X	-	6	00:36:43	00:13:35	A

Tabela C.7: Fase 2 e fase 3 da aplicação da ferramenta SMED (2).

Nº	Atividade	Registo do estado atual				Análise de tempo por tipo de <i>setup</i>		Operador
		Tempo acumulado	Setup interno	Setup externo	Distância percorrida	Setup interno	Setup externo	
22	Buscar máquina de fazer pontas	00:43:40	X	-	20	00:42:43	00:13:35	A
23	Fazer ponta ao fio da máquina	00:44:40	X	-	12	00:43:43	00:13:35	A
24	Introduzir matéria-prima na fieira, enrolar no tambor e inserir na máquina	00:48:40	X	-	0	00:47:43	00:13:35	A
25	Afinar os parâmetros de máquina – parte 1	01:35:10	X	-	6	01:34:13	00:13:35	A
26	Ir ao projetor de perfis e confirmar – parte 1	01:37:10	X	-	40	01:36:13	00:13:35	A
27	Afinação final e aperto da ferramenta – parte 2	01:41:20	X	-	0	01:39:03	00:13:35	A
28	Ir ao projetor de perfis e confirmar – parte 2	01:44:40	X	-	40	01:40:23	00:13:35	A
29	Afinação final e aperto da ferramenta	01:55:50	X	-	0	01:43:43	00:13:35	A
30	Colocar desvio para roscadora na ponteadora– parte 1	01:57:00	X	-	2	01:54:53	00:13:35	A
31	Buscar parafuso de substituição	02:02:10	X	-	10	01:56:03	00:13:35	A
32	Colocar desvio para roscadora na ponteadora– parte 2	02:34:50	X	-	0	02:01:13	00:13:35	A
33	Desmontar e montar ferramenta da roscadora	02:36:15	X	-	3	02:33:53	00:13:35	A
34	Afinação da roscadora – parte 1	02:37:10	X	-	12	02:35:18	00:13:35	A
35	Inverter elevador de peças para ponteadora (quadro elétrico)	02:38:30	X	-	12	02:36:13	00:13:35	A
36	Desencravar elevador de peças para ponteadora	02:42:52	X	-	12	02:37:33	00:13:35	A
37	Afinação da roscadora – parte 2	02:52:10	X	-	12	02:41:55	00:13:35	A
38	Troca de ferramenta (pente e calço – inverter)	02:53:30	X	-	0	02:51:13	00:13:35	A
39	Afinação da roscadora – parte 3	02:54:30	X	-	6	02:52:33	00:13:35	A
40	Montar parte superior da calha para roscadora	02:33:52	X	-	3	02:53:33	00:13:35	A
41	Buscar ferramenta em falta	02:54:55	X	-	10	02:53:58	00:13:35	A
42	Montar e afinar parte superior da calha na roscadora	02:57:23	X	-	6	02:56:26	00:13:35	A
43	Última verificação do sistema de roscagem	02:58:40	X	-	0	02:57:43	00:13:35	A
44	Colocar parte superior da calha para a ponteadora	02:59:11	X	-	2	02:58:14	00:13:35	A
45	Fechar proteções e colocar a máquina a produzir	02:59:50	X	-	0	02:58:53	00:13:35	A

Anexo D – Spaghetti Diagram

Nas figuras D.1-D.6, estão representadas as movimentações do trabalhador ao longo da mudança de ferramentas registrada na máquina de estampagem, antes da implementação de melhorias. Ao mesmo tempo, são registradas as distâncias dessas mesmas movimentações, as quais são representadas nas tabelas D.1-D.6, ao longo deste anexo.

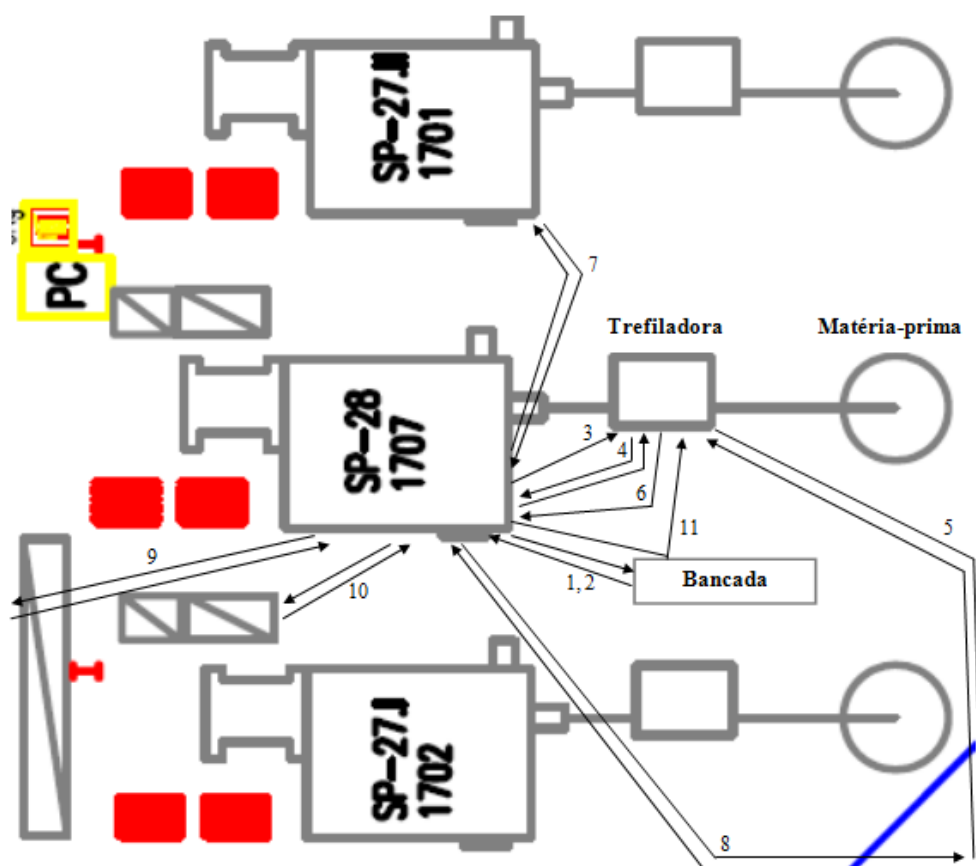


Figura D.1: Spaghetti Diagram da mudança de ferramentas na estampagem (1).

Tabela D.1: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (1).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
1	Buscar pano de limpeza à bancada	4	3, 4
2	Deixar pano de limpeza na bancada	2	5
3	Escorrer massa para retirar fieira	1	7
4	Buscar ferramenta ao tabuleiro para abrir depósito	5	8
5	Buscar utensílio de escorrer massa à trefiladora da máquina 1700	15	11
6	Desmontar rodas de puxo de arame	6	12
7	Buscar ferramenta no tabuleiro da máquina 1701	10	12
8	Procurar íman para retirar suplemento de punção	22	13
9	Pedir suporte para punções ao chefe do setor	22	15
10	Buscar pistola de ar comprimido para limpar máquina	6	17
11	Troca de fieira anterior para a nova referência	11	20

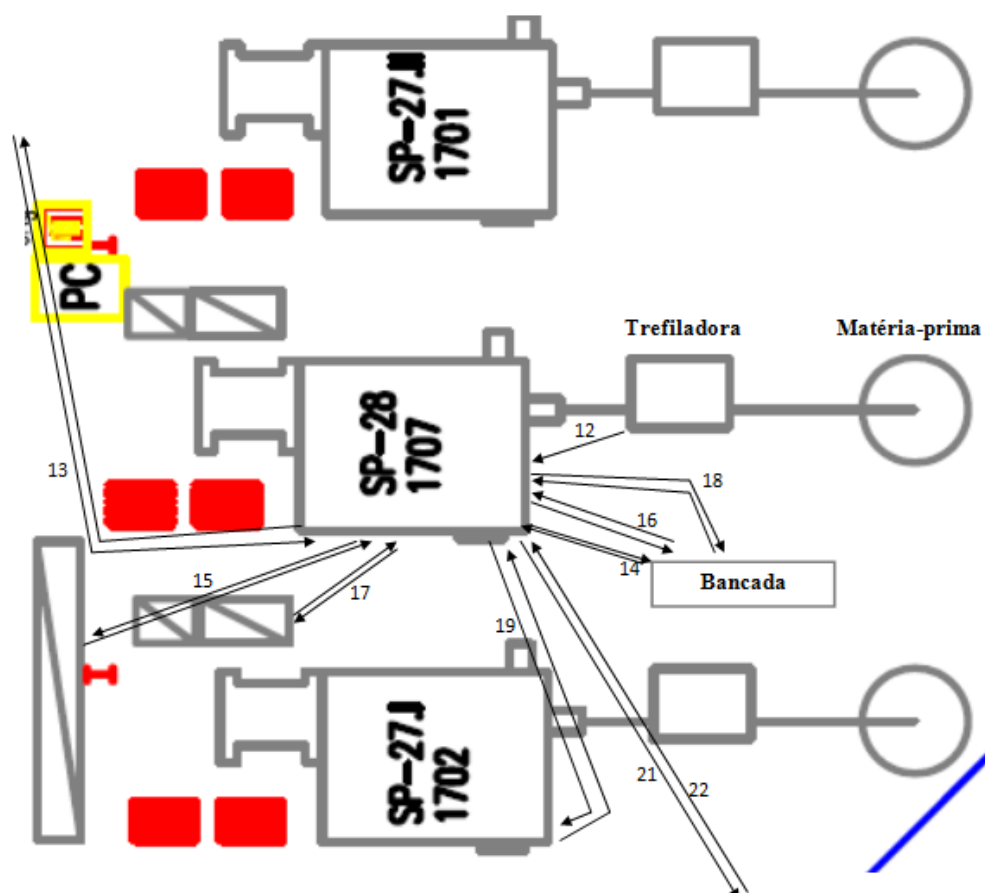


Figura D.2: Spaghetti Diagram da mudança de ferramentas na estampagem (2).

Tabela D.2: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (2).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
12	Buscar carro de ferramentas	2	20
13	Lavagem da ferramenta na máquina de lavar	12	21
14	Arrumar ferramenta na caixa	2	22
15	Arrumar rodas lavadas e trazer rodas da nova referência	8	23, 25
16	Montagem do corte e das matrizes	6	28
17	Buscar ferramentas no armário	2	28
18	Buscar restantes ferramentas	11	29, 30
19	Procurar ferramentas	16	32
20	Lavar mãos	1	32
21	Procurar chefe e pausa	50	34
22	Regresso e pegar punção	4	35

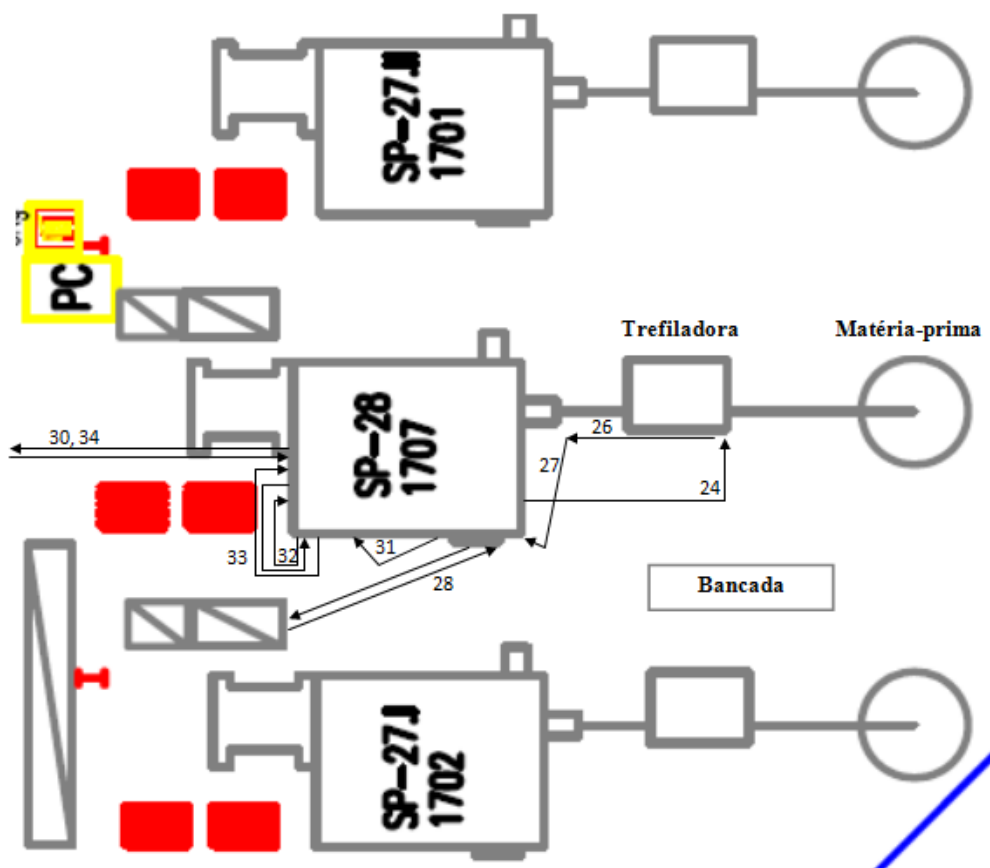


Figura D.3: *Spaghetti Diagram* da mudança de ferramentas na estampagem (3).

Tabela D.3: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (3).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
23	Afinação da extração	1	37
24	Introdução da matéria-prima para trefilar	2	40
25	Lavar mãos	1	40
26	Introduzir matéria-prima na máquina	3	40
27	Afinações de corte	1	41
28	Procurar calço no armário	1	41
29	Lavar mãos	2	42
30	Controlo de qualidade (projektor de perfis)	20	43
31	Ligar máquina e confirmar comando da ponteadora	4	44
32	Deslocar até ponteadora	2	45
33	Afinação das caleiras	6	45
34	Buscar paquímetro (cacifos)	50	46

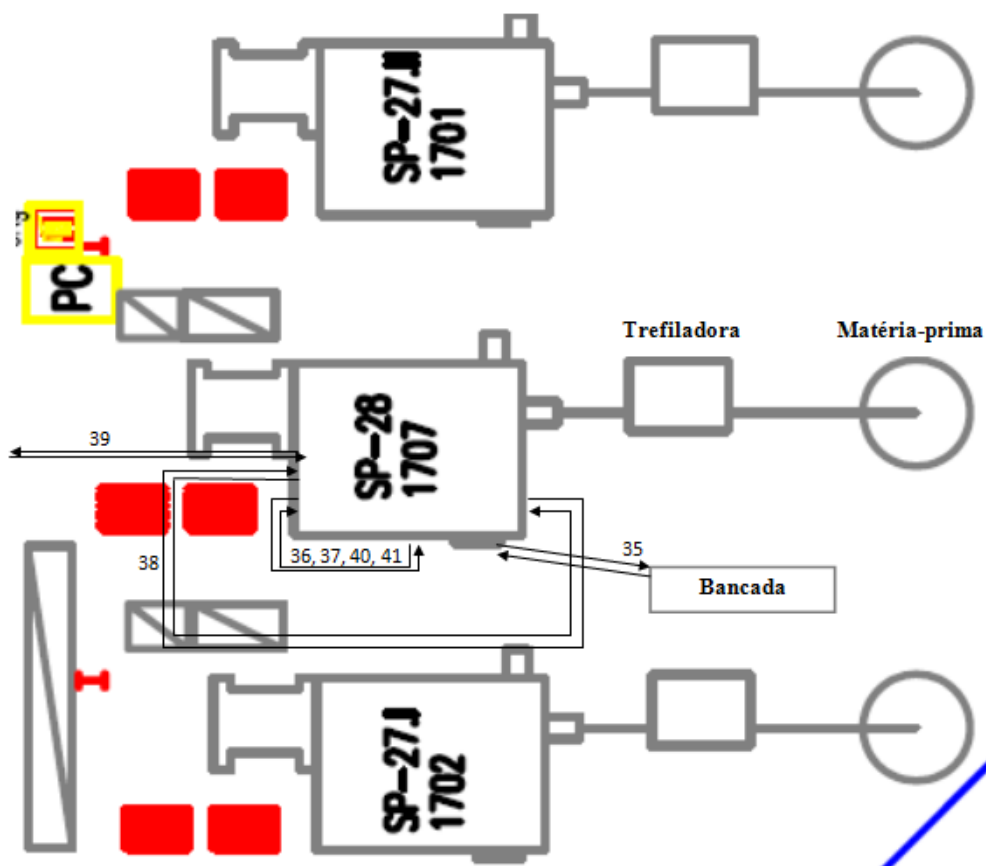


Figura D.4: *Spaghetti Diagram* da mudança de ferramentas na estampagem (4).

Tabela D.4: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (4).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
35	Buscar ferramenta à bancada	12	47
36	Afinação da roscadora	6	48
37	Tirar proteção da saída das peças	6	49
38	Procurar chave de 1 buraco	10	50
39	Buscar chave à máquina 1700	25	50
40	Desapertar sistema de aperto de pentes	6	52
41	Limpar peças da máquina	4	53

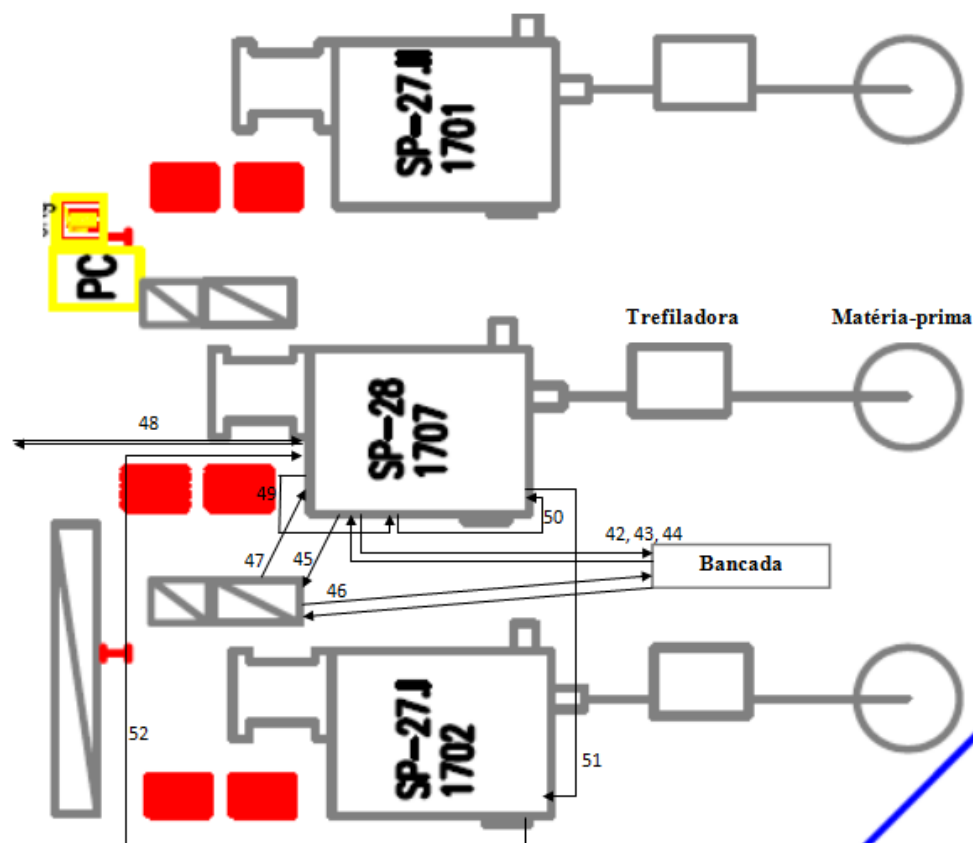


Figura D.5: Spaghetti Diagram da mudança de ferramentas na estampagem (5).

Tabela D.5: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (5).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
42	Aperto de sistema no torno	12	54
43	Buscar ferramentas ao carro	12	55
44	Voltar ao carro de preparação de ferramenta	6	55
45	Procurar ferramentas no armário	8	55
46	Voltar ao torno para montar conjunto	6	56
47	Voltar à roscadora	6	57
48	Buscar parafusos ao armazém de reposição	25	59
49	Aperto de pentes	4	60
50	Repor ferramentas no tabuleiro da máquina	8	62
51	Buscar ferramentas à máquina 1702	14	62
52	Regresso à roscadora	11	63

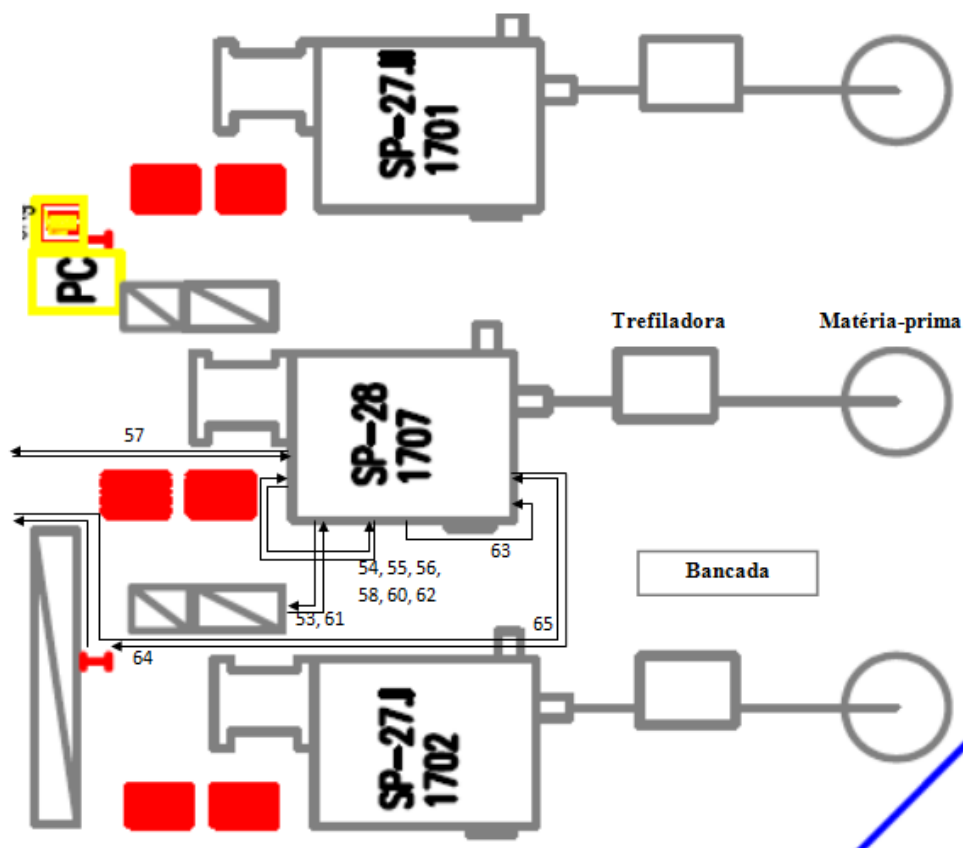


Figura D.6: *Spaghetti Diagram* da mudança de ferramentas na estampagem (6).

Tabela D.6: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas (6).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
53	Buscar ferramenta ao armário	8	64
54	Afinação da roscadora	6	65
55	Afinação do afastamento dos pentes	6	65
56	Afinação dos pentes	6	65
57	Pausa	30	65
58	Afinação dos pentes	6	65
59	Procurar ferramenta	10	66
60	Afinação dos pentes	6	66
61	Procurar ferramenta	21	66
62	Ajustes na roscadora	4	68
63	Ajustes na prensa	4	71
64	Medição no projetor de perfis	15	72
65	Dúvida de qualidade a reportar ao chefe da secção	30	73

Após a implementação de melhorias, através da ferramenta SMED, foi elaborado um novo *Spaghetti Diagram*, com as respectivas medições de distâncias percorridas pelo trabalhador (tabelas D.7-D.8), representadas nas duas figuras seguintes (D.7-D.8).

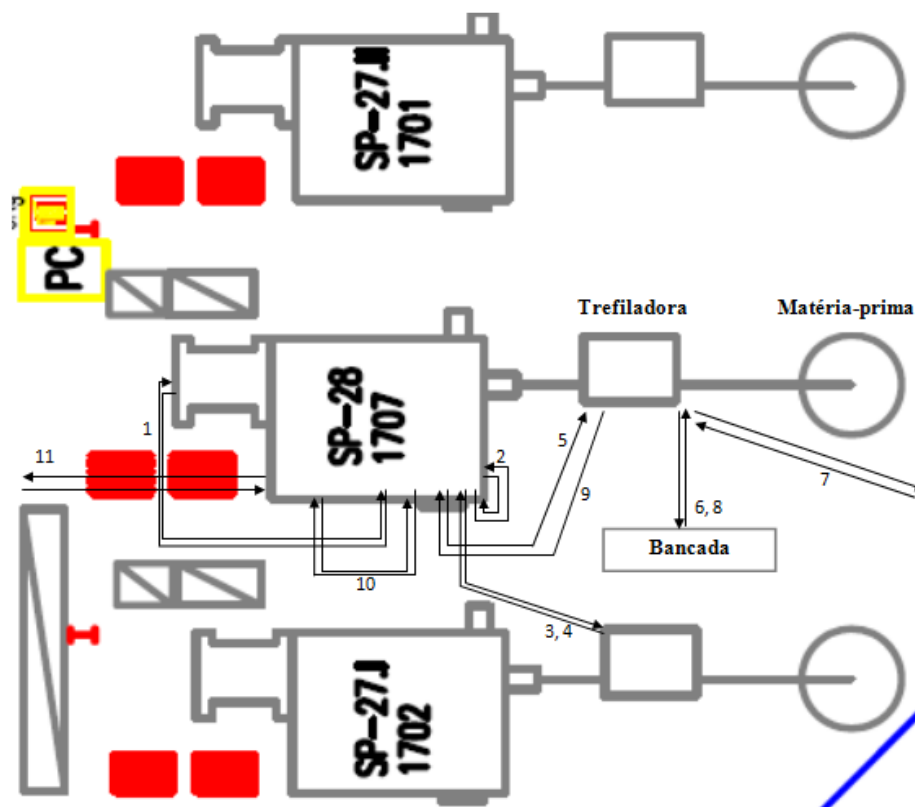


Figura D.7: Spaghetti Diagram da mudança de ferramentas na estampagem após melhorias (1).

Tabela D.7: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas após melhorias (1).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
1	Abrir ar comprimido	10	4
2	Retirar arame das rodas	3	7
3	Montar corte após trazer tabuleiro	3	15
4	Levar tabuleiro de ferramentas	3	16
5	Trefilar arame	3	21
6	Buscar tesouras de corte de arame	3	21
7	Buscar máquina de fazer pontas	20	22
8	Pegar tesouras de corte de arame (2 vezes)	12	23
9	Voltar à prensa para afinação	3	25
10	Mudar comandos na ponteadora	3	25
11	Projeto de perfis (2 vezes)	80	26, 28
12	Ir para ponteadora	2	30

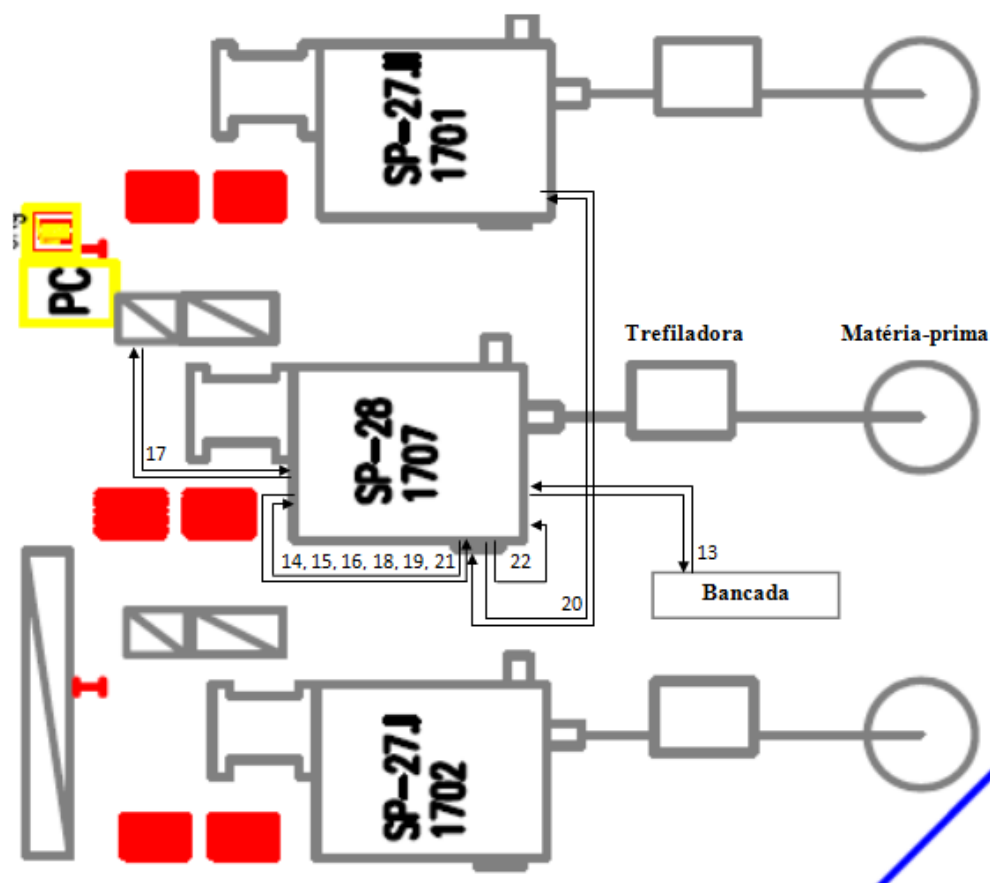


Figura D.8: Spaghetti Diagram da mudança de ferramentas na estampagem após melhorias (2).

Tabela D.8: Descrição das atividades desempenhadas na mudança de ferramentas após melhorias (2).

Nº	Descrição	Metros	Nº SMED
13	Buscar parafuso	10	31
14	Ir para roscadora	3	33
15	Desapertar parafusos de pente fixo	6	34
16	Apertar novos pentes e calço	6	34
17	Inverter elevador de peças para ponteadora	12	35
18	Desencravar elevador de peças	12	36
19	Afinação de pentes (4 vezes)	21	37, 39, 40
20	Chave em falta (buscar à máquina 1701)	10	41
21	Apertar calha superior na caleira na roscadora	6	42
22	Ligar comandos para estampagem	2	44

Anexo E – Novo procedimento de mudança de ferramentas

Foi elaborado um novo procedimento de mudança de ferramentas na máquina de estampagem, com o objetivo de normalizar o procedimento e manter as melhorias realizadas com a implementação da ferramenta SMED, constituindo desta maneira um suporte importante para os objetivos delineados na fase *Control* do ciclo DMAIC.

Terminologia

Referência anterior – peça que está acabar de fazer a sua produção na máquina;

Referência seguinte – peça que vai entrar em máquina depois da *referência anterior*;

Colaborador A (A) – afinador de máquina

Colaborador B (B) – colaborador indiferenciado

Procedimento



1 Antes da *referência anterior* ter terminado, fazer as seguintes tarefas:

- | | |
|--|-----|
| 1.1 Preparar as ferramentas de aperto necessárias, colocando-as nos locais definidos; | A B |
| 1.2 Preparar a ferramenta da referência seguinte, colocando-a no tabuleiro de transporte de ferramenta e este no carro de apoio; | A |
| 1.3 Garantir que estão ao dispor todos os meios necessários para a mudança de referência: | |
| 1.3.1 Matéria-Prima (MP); | A B |
| 1.3.2 Consumíveis de máquina (ar comprimido, energia, óleos, massa trefilar...); | A B |
| 1.3.3 Ordem de fabrico; | A B |
| 1.3.4 Utensílios de limpeza de máquina (pistola de ar, caixa com produto limpeza...); | A B |
| 1.3.5 Carro de apoio à ferramenta na prensa e na ponteadora/roscadora; | A B |
| 1.4 Verificar qual é o tipo de MP seguinte e optar por um dos seguintes pontos: | |
| 1.4.1 Se diâmetro de entrada for o mesmo: continuar ou soldar nova MP; | A B |

- 1.4.2 Se o diâmetro de entrada for diferente: cortar a MP ou gastar toda. Verificar se a ponta do novo arame tem o diâmetro inferior à fiação; A B

Nota: Se não estiverem reunidas todas as condições acima indicadas, informar o responsável direto. A B

2 Depois da última peça boa da *referência anterior* sair:

- 2.1 Fechar a OF da *referência anterior*, registrando a quantidade produzida e quantidade consumida de MP (PO.PRO.42); A B
- 2.2 Abrir a OF da *referência seguinte* iniciando a “preparação de máquina”. A B

3 Fazer a limpeza da máquina:

- 3.1 Abrir a caixa de massa da trefiladora para que a massa escorra para o balde (isto se a fiação for diferente e/ou se não for usado pó de trefilar); A B
- 3.2 Limpeza do óleo do *transfer*, levantar o *transfer* e limpar a restante zona da prensa; A B
- 3.3 Limpeza dos elevadores interiores (peças OK e sucata); A B
- 3.4 Limpeza da ponteadora (inclusive os recipientes de sucata) e roscadora à pistola; B
- 3.5 Limpeza dos elevadores exteriores (peças OK, sucata e gamela de saída de peças); B
- 3.6 Limpeza do chão envolvente à máquina. B

4 Iniciar Mudança de Ferramenta

4.1 Rodas de puxo de arame:

- 4.1.1 Retirar as rodas da *referência anterior* para o carro de apoio (colocar os parafusos no local indicado); A B
- 4.1.2 Colocar as rodas da *referência seguinte*; A B

4.2 Prensa (desmontagem, montagem e afinação):

- 4.2.1 Colocar o tabuleiro de transporte ferramentas vazio na máquina; A B
- 4.2.2 Puxar o tope de material para trás; A B
- 4.2.3 Retirar toda a ferramenta que seja diferente entre as referências (corte, matrizes, punções, calços, dedos, extração, etc.), colocando-a no tabuleiro vazio de transporte ferramentas; A B
- 4.2.4 Limpar a fundo o corte, o bloco de matrizes e o bloco de punções; A B

- | | | | |
|--------|--|---|---|
| 4.2.5 | Retirar o tabuleiro de transporte de ferramentas da <i>referência anterior</i> para o carro de apoio e trazer o tabuleiro de transporte de ferramentas da <i>referência seguinte</i> para a máquina; | A | B |
| 4.2.6 | Colocar o corte e posicionar o tope de material; | A | B |
| 4.2.7 | Colocar a restante ferramenta da <i>referência seguinte</i> (calços, matrizes e punções); | A | B |
| 4.2.8 | Colocar os dedos e afiná-los; | A | B |
| 4.2.9 | Trazer tabuleiro da ferramenta e pousar no carro de apoio; | A | B |
| 4.2.10 | Retirar a fieira da <i>referência anterior</i> e colocar a fieira da <i>referência seguinte</i> na trefiladora; | A | B |

Nota: caso seja necessário, passar o fio de máquina no pescoço de girafa e avisar a Logística Interna (empilhador).

- | | | | |
|--------|---|---|---|
| 4.2.11 | Introduzir a matéria-prima na fieira e encher a caixa com massa ou pó de trefilar; | A | B |
| 4.2.12 | Enrolar a matéria-prima no tambor da trefiladora; | A | B |
| 4.2.13 | Inserir a matéria-prima na máquina de estampar; | A | B |
| 4.2.14 | Afinar a extração e os comprimentos (consultar a folha de parâmetros da peça); | | |
| 4.2.15 | Afinar os parâmetros de máquina até obter um produto conforme a ficha técnica da peça e que garanta condições de produção em série (usar amostras como referência); | A | |

4.3 Saída de peças da prensa (elevador ou caleiras de transporte):

- | | | | |
|-------|---|---|---|
| 4.3.1 | Ponteio ou Roscagem: afinar o elevador de transporte de peças para a ponteadora; | A | B |
| 4.3.2 | Perno ou cabeça cortada: colocar um elevador de saída pela parte de trás da máquina; | A | B |
| 4.3.3 | Dimensões muito reduzidas: colocar uma caleira por gravidade na lateral da máquina; | A | B |

Atenção: Conforme especificado na ficha técnica, fazer, ou não, os pontos 4.5 e 4.6.

No caso de se fazer só o ponto 4.5 (ponteio) deve-se colocar uma caleira diretamente na saída da roscadora.

No caso de se fazer só o ponto 4.6 (roscagem) o afinador deve optar por passar

as peças pela ponteadora ou fazer um desvio direto para a roscadora.

4.4 Ponteadora

- | | | |
|---------|---|-----|
| 4.4.1 | Desapertar e retirar as peças da <i>referência anterior</i> : | |
| 4.4.1.1 | Parte superior das calhas para a ponteadora e roscadora; | A B |
| 4.4.1.2 | Guia de saída de peças da ponteadora e guia no final da calha de entrada para a ponteadora; | A B |
| 4.4.1.3 | Prato e roca; | A B |
| 4.4.1.4 | Dedos e patilha introdutora; | A B |
| 4.4.2 | Montar e apertar as peças da <i>referência seguinte</i> : | |
| 4.4.2.1 | Dedos e guia no final da calha de entrada para a ponteadora; | A B |
| 4.4.2.2 | Parte superior da calha para a ponteadora e roca; | A B |
| 4.4.2.3 | Patilha introdutora; | A B |
| 4.4.2.4 | Prato da ponteadora; | A B |
| 4.4.3 | Ajuste das peças (afinação): | |
| 4.4.3.1 | Prato; | A |
| 4.4.3.2 | Alimentação da referência (parte superior da calha) | A |
| 4.4.3.3 | Parafuso que bloqueia a cabeça na vertical (parte superior da ponteadora); | A |
| 4.4.3.4 | Patilha introdutora; | A |
| 4.4.3.5 | Roca (alcance e posicionamento); | A |
| 4.4.4 | Colocar o guia de saída de peças da ponteadora para a calha da roscadora; | A B |

4.5 Roscadora

- | | | |
|---------|--|-----|
| 4.5.1 | Desapertar e retirar as peças da <i>referência anterior</i> : | |
| 4.5.1.1 | Guia no final da calha de entrada para a roscadora (parte de fora e dentro) e patilha introdutora; | A B |
| 4.5.1.2 | Pente móvel; | A B |
| 4.5.1.3 | Pente fixo e calço; | A B |
| 4.5.1.4 | Patilha em U; | A B |

4.5.2 Montar e apertar as peças da *referência seguinte*:

- | | | | |
|---------|---|---|---|
| 4.5.2.1 | Guias no final da calha de entrada para a roscadora (parte de fora e dentro); | A | B |
| 4.5.2.2 | Patilha introdutora; | A | B |
| 4.5.2.3 | Pente e calço fixos; | A | B |
| 4.5.2.4 | Pente móvel; | A | B |
| 4.5.2.5 | Patilha em U; | A | B |

4.5.3 Ajuste das peças (afinação):

- | | | |
|---------|--|---|
| 4.5.3.1 | Ajustar o aperto dos pentes; | A |
| 4.5.3.2 | Ajustar a introdução da peça nos pentes; | A |

- | | | | |
|-------|---|---|---|
| 4.5.4 | Montar a parte superior da calha de entrada para a roscadora e afinar a alimentação das peças para a roscadora. | A | B |
|-------|---|---|---|

5 Preparação Final para produção em série:

- | | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | Fechar todas as proteções da máquina (portas e tampas); | |
| 5.2 | Eliminar todas as peças resultantes da afinação da máquina; | A B |
| 5.3 | Inserir a quantidade a produzir no contador e ajustar a cadência da máquina; | A B |
| 5.4 | Iniciar o processo produtivo e registar o fim da paragem da máquina no Sistema Informático; | A B |
| 5.5 | Fazer o primeiro autocontrolo e guardar as peças na caixa 1ª peça ok; | A B |
| 5.6 | Acompanhar os primeiros minutos de produção (10-15 min) que garantam o aquecimento e os ajustes de ferramenta necessários para uma produção em série. | A |

6 Depois de a máquina estar a produzir a *referência seguinte*:

- | | | |
|-----|---|-----|
| 6.1 | Lavar toda a ferramenta da <i>referência anterior</i> ; | B |
| 6.2 | Guardar a ferramenta da <i>referência anterior</i> nos locais assinalados para o efeito (caixa e armários de ferramenta); | A B |
| 6.3 | Fazer as alterações necessárias na folha de parâmetros de máquina e no kit de ferramentas da peça. | A |
| 6.4 | Reportar quaisquer alterações de ferramenta e/ou processo produtivo aos responsáveis pelos mesmos. | A B |